UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

TECNOLOGIA DE GRUPO APLICADA AO PROJETO DE CÉLULAS DE FABRICAÇÃO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA A UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

JOSÉ ARNALDO BARRA MONTEVECHI

Florianópolis, Julho de 1989.

TECNOLOGIA DE GRUPO APLICADA AO PROJETO

DE CÉLULAS DE FABRICAÇÃO

JOSÉ ARNALDO BARRA MONTEVECHI

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECANICA, AREA DE CONCENTRAÇÃO FABRICAÇÃO, APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA.

Aureo Campos Ferreira, Ph.D.
Orientador

Arno Blass, Ph.D.
Coordenador do curso

BANCA EXAMINADORA

Aureo Campos Ferreira, Ph.D.
Presidente

Eduardo Vila Gonçalves Filho, Ph.D.
Co-orientador

Abelardo Alves de Queiroz, Ph.D.

A meus pais,

e a Léa.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Aureo Campos Ferreira pela orientação e entusiasmo com o trabalho.
- Ao Prof. Eduardo Vila Gonçalves Filho pela cooperação, orientação e boa vontade que em muito acrescentou nesta pesquisa.
- Ao Prof. Abelardo Alves Queiroz pela atenção dispensada.
- Ao Iberê Locks Lima e João Gilberto Destri pela ajuda na parte computacional.
- Ao Alexandre Pinheiro Dantas da Silva e Hermann Augusto Lepikson pela revisão do texto.
- Aos funcionários e estagiários do GRUCON.
- A Soraya dos Santos pelo excelente trabalho de datilografia.
- Ao prof. Arno Blass e Verinha pela atenção nos assuntos referentes à secretaria.
- A todos os amigos da UFSC.
- A EFEI, CAPES e GRUCON que deram suporte para a realização desta dissertação.

RESUMO

Este trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia para o auxílio ao projeto de células de fabricação, baseada em conceitos de Tecnologia de Grupo. Implementou-se a metodologia elaborada em um sistema informatizado que separa um lote de peças em famílias e simula os grupos de máquinas ligado a estas famílias. O procedimento para formação de famílias de peças é baseado em análise de fluxo de fábrica, utilizando-se técnicas de agrupamento. A parte de simulação consta da implementação dos métodos de sequenciamento sucessivo unidirecional e paralelo unidirecional, atendendo a programações tipo "flow shop". Na simulação são calculados dados como tempos de processamento de lotes, melhor sequência de processamento de peças e ocupação percentual de cada equipamento.

ABSTRACT

This work develops a methodology for manufacturing cell design, using concepts of Group Technology. The methodology developed was introduced in a system that separates a lot of parts in families and simulates the groups of machines used to manufacture this families. The formation of families is based on production flow analysis using clusters analysis. The simulation takes into account methods of flow shop scheduling. The system calculates lead-times, best scheduling, manufacturing times and occupation of each machine.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 3

CAPÍTULO 4

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

CAPÍTULO 2

CAPÍTULO 3

CAPÍTULO 4

CAPÍTULO 5

APENDICE A

APENDICE B

APÊNDICE C

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 3

CAPÍTULO 5

CAPÍTULO 6

GLOSSÁRIO

"Layout em linha" - Arranjo físico de equipamentos destinados à produção de grandes quantidades de peças. As máquinas são colocadas na sequência em que são usadas.

"Layout funcional" - Arranjo físico de equipamentos, onde as máquinas são dispostas por processo. As que desempenham a mesma função são colocadas juntas. Visa normalmente a produção de pequenos e médios lotes.

"Layout em grupo" - Arranjo físico de equipamentos onde as máquinas de diferentes tipos são agrupadas de tal maneira a produzir todos os componentes de uma determinada família de peças.

"Lead time" - Tempo total de processamento de uma determinada peça, desde a chegada em bruto até estar terminada a sua última operação. Neste tempo estão incluídos os tempos secundários tais como o de movimentação e de estoque intermediário.

"Setup" - Tempo de preparação de uma máquina para processar determinada peça.

"Flow shop" - Sequenciamento onde o fluxo de peças obedece um sentido unidirecional nos equipamentos necessários para seu processamento.

"Job shop" - Sequenciamento onde as peças não tem um sentido pré definido para seu processamento. Várias máquinas podem ser escolhidas para a mesma operação.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

A indústria do futuro para ser uma empresa eficiente, sem refugos ou desperdícios deverá ter um melhor aproveitamento de seus recursos materiais, humanos e de informação.

A eficiência é a chave para se atingir este objetivo que deve ser o principal da empresa, priorizando, os processos produtivos que consistem na base de apoio à competitividade. A eficiência de fabricação deve ser, então, um dos principais objetivos a ser atingido [1].

As indústrias modernas de manufatura têm se debatido com uma gama extensa de problemas na fabricação [2]. Estes problemas são originados, por exemplo:

- pela pressão da competição mundial;
- mudanças no comportamento do mercado consumidor;
- constante diversificação da linha de produtos;
- burocracia.

Que trazem como consequências:

- constantes reprogramações;
- extensos tempos de espera;
- sub utilização da mão de obra e equipamentos;
- refugos, desperdícios, etc.

Para solução destes problemas, a organização convencional da linha de produção, assim como muitos sistemas

convencionais de planejamento, processamento e projetos comumente utilizados com esta linha, estão se tornando ultrapassados e ineficientes.

Neste contexto, uma empresa, além de se preocupar com aspectos comerciais, administrativos e financeiros, deve olhar com cuidado os aspectos da produção, que requerem maiores cuidados.

Como normalmente os objetivos de uma empresa são a curto prazo, qualquer projeto empreendido em direção à automatização e integração da fabricação deve ser realista e compatível com as dificuldades do ambiente em contexto.

Para se atingir este objetivo, deve-se procurar uma fórmula para otimizar os recursos existentes, antes de implementar todo um sistema automatizado. Procurando assim, eliminar perdas e poder evoluir em flexibilidade visando a eficiência pretendida. Deve-se basear, então, na trilogia básica:

- simplificar;
- automatizar;
- integrar.

Esta abordagem implica num menor risco, para no futuro se implementar uma estrutura de CIM (Computer Integrated Manufacturing).

A fase denominada simplificação, ao ser maximizada, pode até mesmo cobrir custos das fases de automatização e integração [1]. Pois nesta fase, já se obtém resultados para melhorar a capacidade de produção e a qualidade, trazendo como consequência direta uma redução nos custos de fabricação.

1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Para se situar no contexto do problema, serão analisados primeiramente os dois tipos de sistemas de produção mais comuns, com o objetivo de conduzir a uma conceituação que vise justificar o porquê de buscar uma nova solução para indústrias que trabalham com lotes de fabricação pequenos e médios.

Normalmente, indústrias que trabalham com médios lotes utilizam o que é chamado de "layout" funcional, enquanto que as de produção em série o "layout" em linha.

1.1.1. "Layout" em linha

O princípio básico do "layout" em linha é a colocação das máquinas na sequência que serão usadas, visando a fabricação contínua de peças. Resumidamente, apresenta as seguintes características:

- utilização de máquinas específicas;
- grandes quantidades de peças semelhantes;
- elevada produtividade;
- controle da produção simplificado;
- volume de produção dependente da linha.

Este tipo de "layout", traz algumas desvantagens, entre elas se destacam:

- baixa flexibilidade;
- interrupções causam grandes perdas;

- elevado investimento inicial;
- papel limitado do operário [3].

1.1.2. "Layout" funcional

Neste tipo de sistema de fabricação, as máquinas são dispostas por processo, isto é, máquinas que desempenham a mesma função são colocadas juntas, em determinados locais da fábrica. Um exemplo esquemático é mostrado na figura 1.1 [4,5,6]. Como resultado obtém-se seções de torneamento, fresamento, furação, etc. Este método de agrupar máquinas é muito simples e em virtude disto, é o mais utilizado para fabricação de pequenos e médios lotes.

Pode-se citar como vantagens deste arranjo:

- flexibilidade de produção;
- quebra de máquinas normalmente não causa transtornos;
- concentração de habilidades e ferramental.

Como desvantagens cita-se:

- tempo total de produção muito longo;
- controle de produção complexo;
- alto custo de fabricação para cada peça;
- baixo índice de utilização de equipamentos;
- estoques intermediários;
- excessivos tempos de movimentação.

A figura 1.2 ilustra como o "lead time" de cada peça normalmente esta dividido [3,7]. Verifica-se assim, que este tipo de "layout" acarreta em uma porcentagem muito grande de

tempos improdutivos.

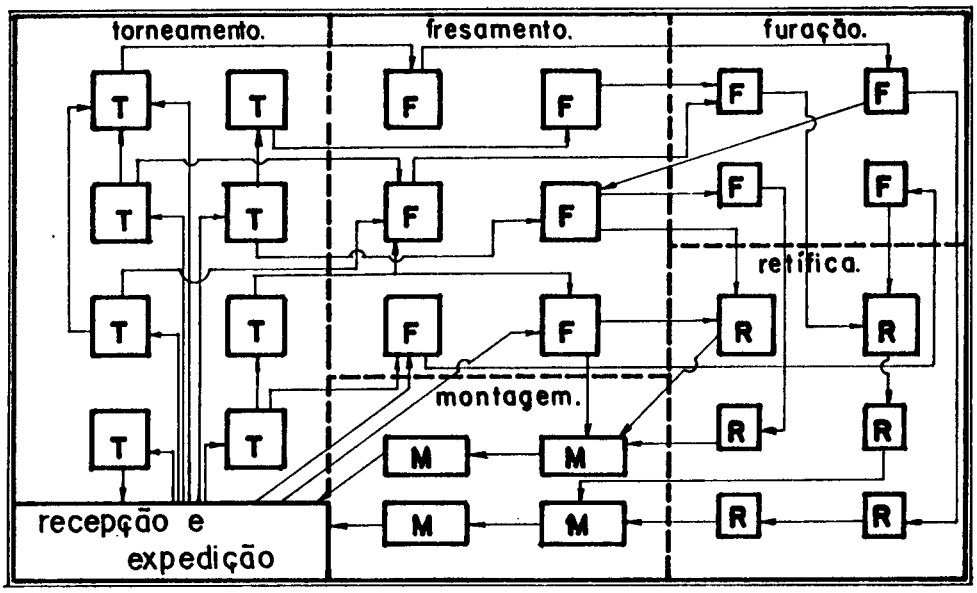

Figura 1.1 - "Layout" funcional.

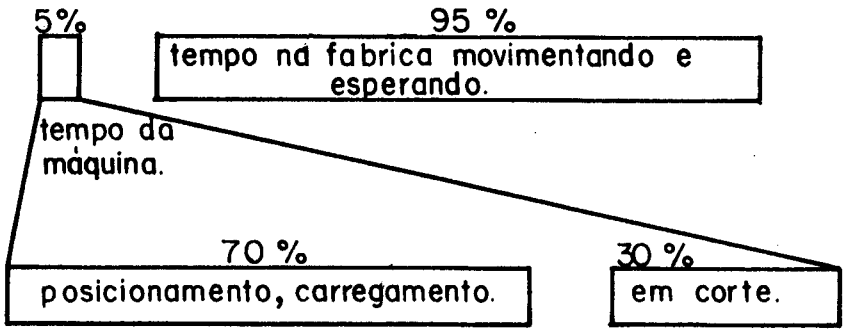

Figura 1.2 - Tempo total de produção.

Segundo pesquisas, atualmente, na maioria dos países industrializados, a maior parte da produção se destina a

pequenos e médios lotes. A tendência de demanda dos anos 80 difere das décadas anteriores, quando o ciclo de vida do produto era bem mais longo [2,3,8]. E, nos anos 90, as exigências serão ainda maiores, com diversificação de modelos, características individualizadas de performance e lotes de produção cada vez menores. A figura 1.3 mostra a tendência da diversificação de produtos [2].

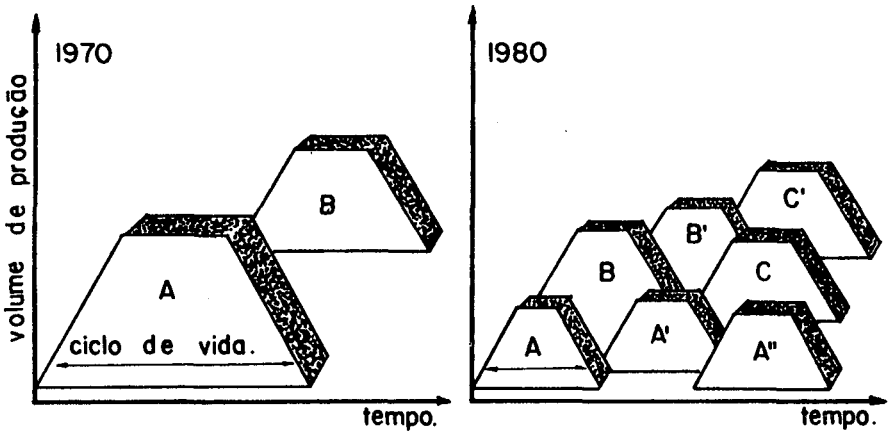

Figura 1.3 - Ciclo de vida dos produtos.

Deve-se então, visando o objetivo de simplificação, melhorar o sistema de "layout" funcional que se destina à produção destes lotes. A idéia é compatibilizar a produtividade dos sistemas tipo "layout" em linha com a produção de pequenos e médios lotes. Para isto não se deve necessariamente desfazer de todos os equipamentos e substituí-los pelo que há de mais moderno. Deve ser feita uma avaliação dos objetivos da produção, a revisão do fluxo industrial e a implementação da composição correta. Uma tentativa válida de se obter isto baseia-se na adoção do sistema tipo "layout" de grupo, explicado a seguir.

1.1.3. "Layout" em grupo

Basicamente, o que se tenta obter com o "layout" em grupo é representado na figura 1.4 [9,10].

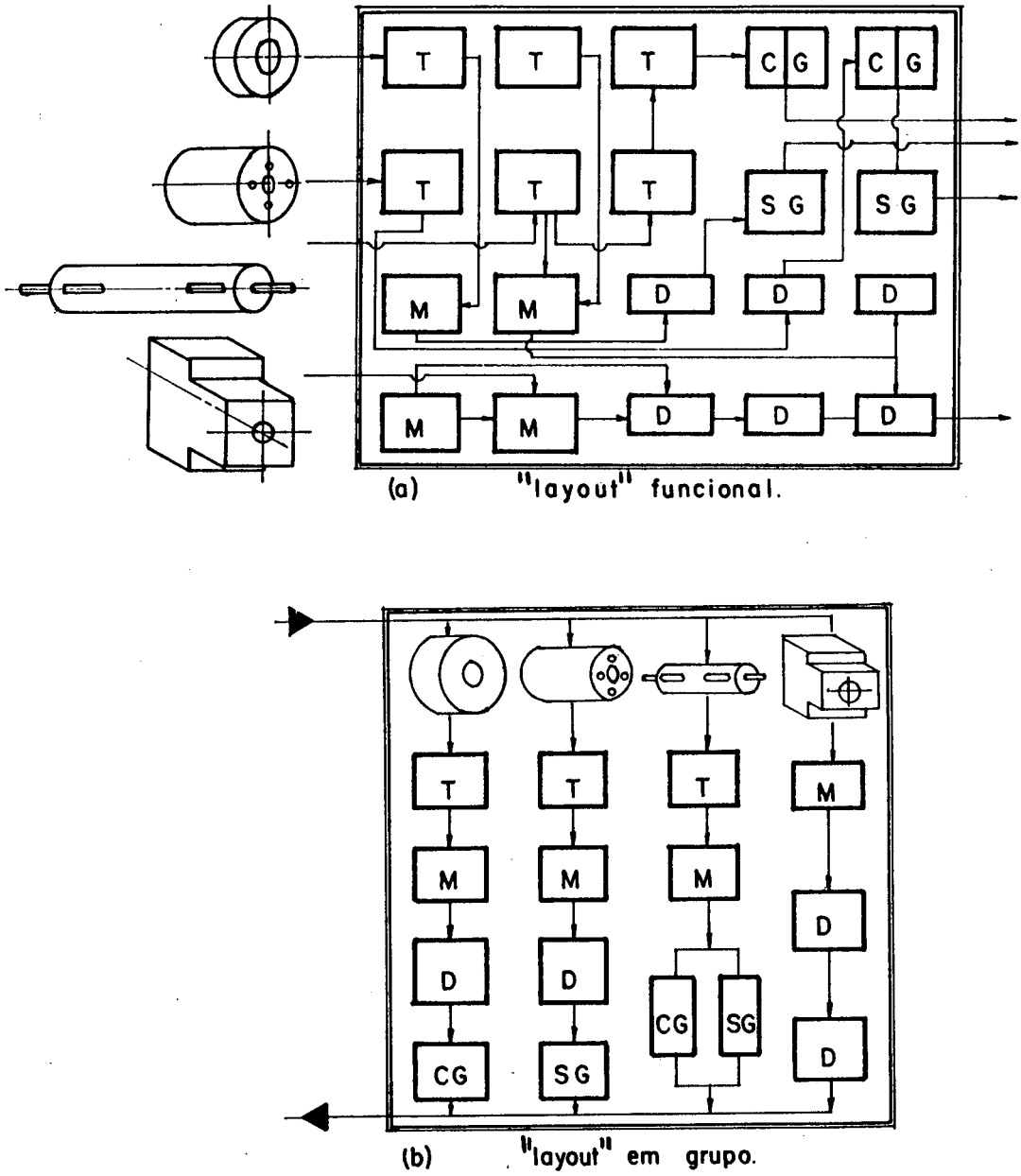

Figura 1.4 - a) "Layout" funcional, b) "Layout" em grupo.

Agrupando as peças similares em famílias é possível formar grupos de máquinas capazes de processá-las. Estes grupos de máquinas são denominados células de fabricação. Este arranjo, chamado de "layout" de grupo, visa melhorar a produtividade em indústrias de pequenos e médios lotes. Tenta-se, assim, aliar a produtividade dos sistemas de linha em sistemas tipo "layout" funcional. Evita-se o que ocorre tradicionalmente na fabricação à base de lotes, onde cada peça é tratada como sendo única no projeto, no planejamento de processos, no controle da produção, produção, etc.

Este tipo de sistema tem se tornado uma alternativa atrativa aos meios convencionais de produção, devido principalmente, à sua flexibilidade na adaptação às exigências e necessidades de mercado à qualidade dos bens produzidos e, naturalmente, por ser economicamente atrativo devido à sua melhor produtividade, em relação ao "layout" tipo funcional.

A flexibilidade aliada à produtividade conseguida com células de fabricação é mostrada esquematicamente na figura 1.5 [11].

A adoção deste tipo de layout pode originar três tipos de células:

1- Máquina isolada,

2- Grupo de máquinas,

3- Grupo de máquinas obedecendo a um "flow shop".

A célula de uma máquina só, pode ser usada para peças cujas operações necessárias podem ser feitas com uma única montagem na máquina.

A célula tipo grupo de máquinas é aquela em que

algumas máquinas são agrupadas para fabricação de famílias, mas não há previsão da sequência de movimentação de peças dentro da célula. Ou seja, as peças podem não ter um fluxo direcionado no arranjo de máquinas que formam a célula. Podem ser processados em uma máquina posterior e voltar para anterior.

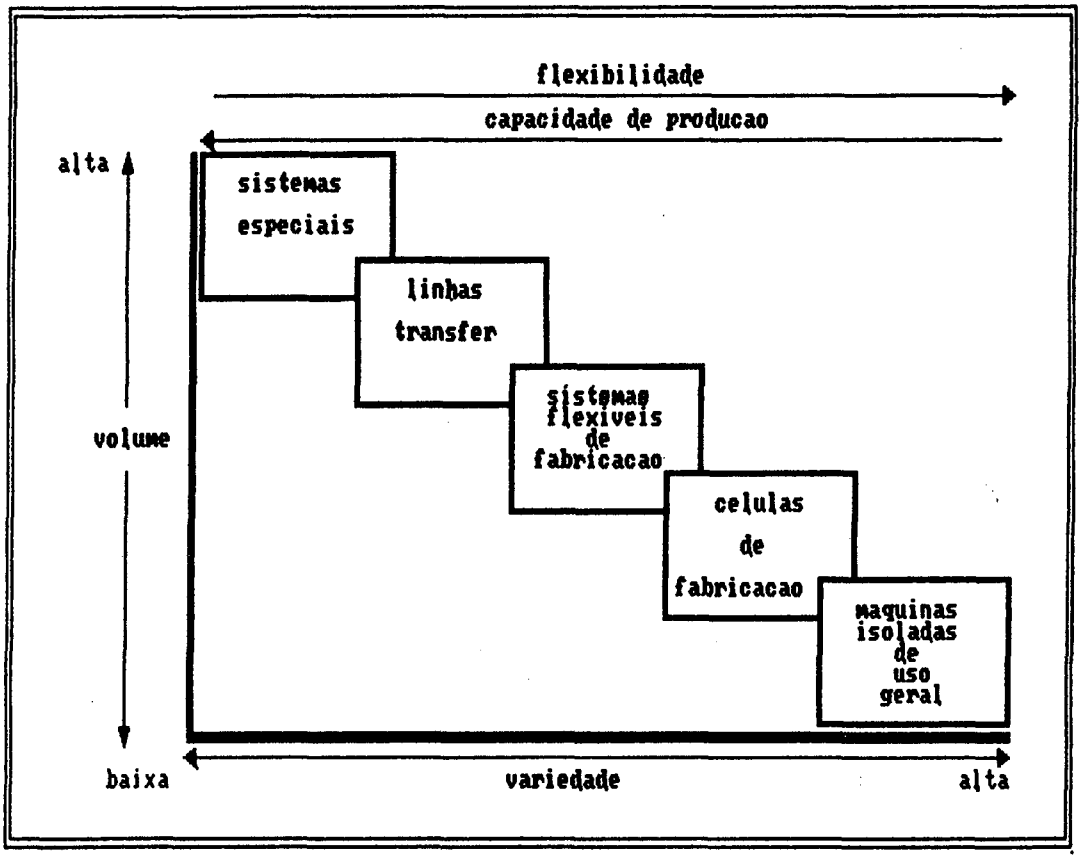

Figura 1.5 - Sistemas de fabricação x volume e variedade de peças.

A célula de fabricação obedecendo a um "flow shop" é a reunião de um grupo de máquinas destinadas a fabricação de famílias, onde as peças passam pelas máquinas obedecendo uma

sequência. Certamente algumas operações podem ser omitidas, mas o fluxo de trabalho precisa obedecer sempre à mesma direção.

A adoção deste tipo de "layout" para atingir a produtividade das linhas de produção, visa o seguinte:

- redução dos custos de fabricação;
- redução do esforço organizacional para o planejamento e acompanhamento das encomendas;
- investimento mínimo em dados para execução de uma encomenda;
- redução dos tempos de preparação e fabricação;
- busca de uma carga uniforme para todos os equipamentos;
- menores estoques intermediários.

1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA

Embora haja tentativas nacionais de estabelecer critérios para a formação de células de fabricação [12,13], o procedimento é todo "artezanal", requerendo assim, grande esforço humano, o que leva a resultados nem sempre satisfatórios.

Face a esta constatação, a proposta deste trabalho é desenvolver um sistema que minimize a interferência do homem nas tarefas manuais do projeto de células de fabricação. O sistema deve propor diretrizes para o rearranjo do "layout" funcional em "layout" em grupo (células). Os resultados levantados deverão possibilitar uma análise qualitativa e quantitativa, que forneça subsídios para uma discussão estratégica sobre a implementação ou não de uma célula.

CAPÍTULO 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Necessita-se agora escolher ferramentas para a solução do problema apresentado. Uma técnica que é largamente comentada e que se adequa perfeitamente no contexto desta pesquisa, é a Tecnologia de Grupo (TG) [3,5,10,14,15,16,17,18]. A seguir serão analisados alguns aspectos desta técnica.

2.1. O SIGNIFICADO DA TECNOLOGIA DE GRUPO

A Tecnologia de Grupo (TG) é uma filosofia que explora similaridades e busca atingir eficiência pelo agrupamento de problemas [3,16,19].

Trata-se de um elemento que pode trazer benefícios para o desenvolvimento e implantação da fabricação assistida por computador (CAM), através da aplicação do conceito de famílias de peças.

Há evidências de que o conceito de tecnologia de grupo tenha sido praticado desde o começo do século. Entretanto, após 1959 é que os conceitos de TG foram formalizados em um livro entitulado de "Princípios científicos da tecnologia de grupo" por Mitrofanov [3].

Muitas das aplicações iniciais voltavam-se para a

fabricação de famílias de peças. Peças que necessitavam de um processo similar eram mantidas juntas e processadas em sequência, reduzindo assim os estoques (intermediários) e tempos improdutivos. Com o passar dos anos, os conceitos de TG foram aplicados para auxiliar outras atividades que envolvem a fabricação, como o projeto do produto e o planejamento de processos, principalmente no caso de sistemas assistidos por computador.

Em muitos casos, um pré-requisito para o reconhecimento de similaridades é um sistema pelo o qual os objetos de interesse possam ser classificados.

Em projetos, peças podem ser classificadas pelas similaridades geométricas usando códigos que contém atributos de projeto. A utilidade pode ser recuperar todas as peças com certas características, tais como peças rotacionais com diâmetro inferior a 30 mm. Se uma das peças recuperadas for utilizada, o projetista evita projetar uma nova.

Similaridades de peças recuperadas de um código TG podem ser usadas pela fabricação, compras ou vendas. Por exemplo, um fabricante pode reduzir drasticamente o tempo e o esforço gasto decidindo como uma peça pode ser produzida, se esta informação já for disponível para uma peça similar.

Uma base de dados para TG é um sistema de arquivamento por computador, que acelera a recuperação de informações sobre as peças, simplifica o processo de projeto, aumenta a acuracidade do planejamento de processos, ajuda na criação e operação de células de fabricação e acentua a comunicação entre áreas. A comunicação entre áreas, através da TG

é representada esquematicamente pela figura 2.1 [20].

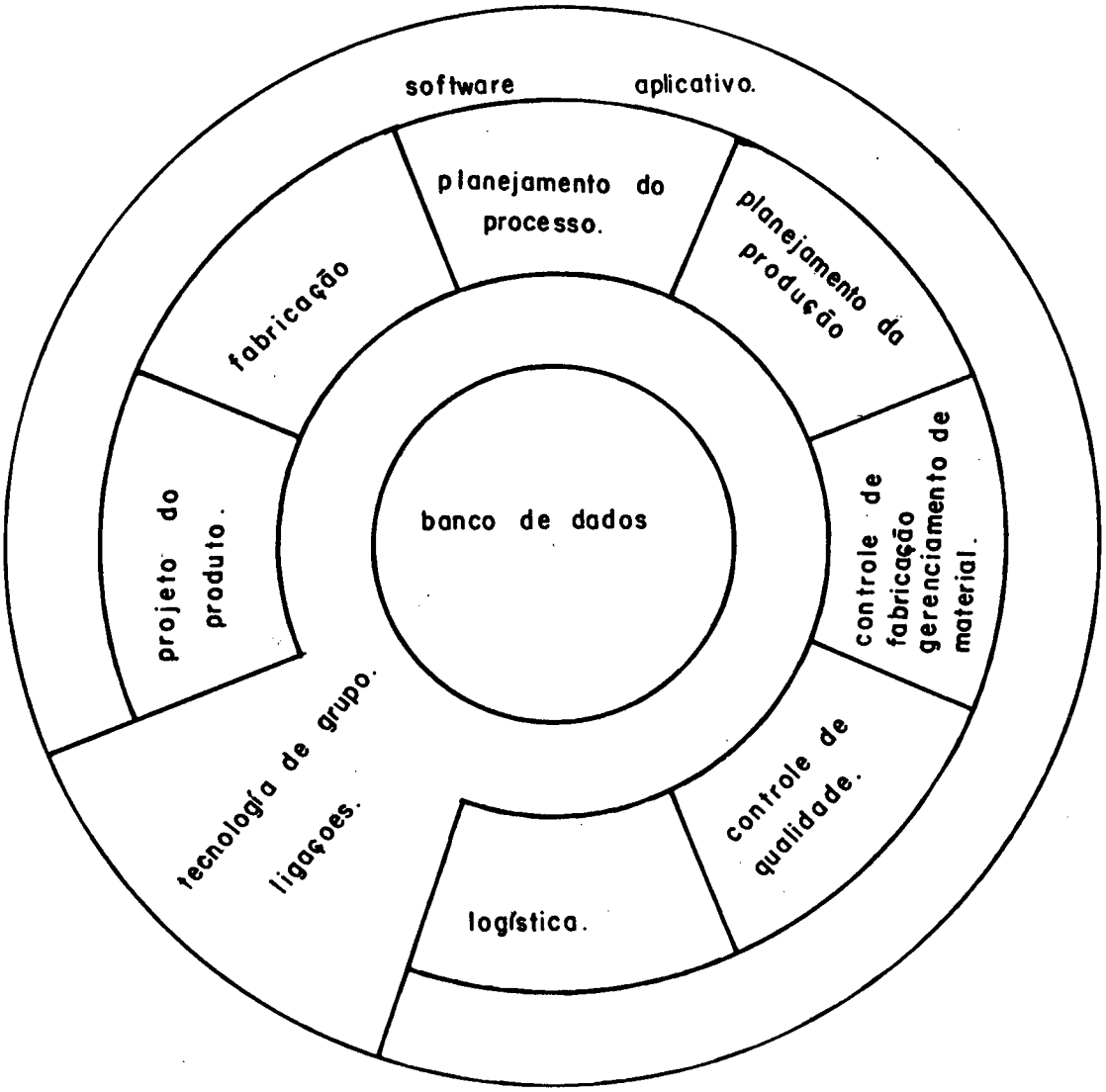

Figura 2.1 - TG e as diversas áreas.

A essência da TG é capitalizar sobre similaridades em tarefas de recorrência em 3 caminhos:

- executando atividades similares juntas, de tal modo a evitar tempo perdido, na troca de uma atividade para outra;
- pela padronização de atividades relacionadas, assim focalizando somente sobre diferenças e evitando duplicação desnecessária de esforços;
- pela eficiência de classificação e recuperação de informações relacionadas pelos problemas de recorrência, assim reduzindo o tempo de pesquisa para a informação e eliminando a necessidade de solucionar os mesmos problemas novamente.

Com a utilização da Tecnologia de Grupo e amadurecimento desta filosofia, além do objetivo pretendido, de inicalizar uma base para o desenvolvimento de células de fabricação, a integração entre áreas possibilitadas pelo seu uso, poderá contribuir para a integração futura de toda indústria por computador (CIM).

2.2. ASPECTOS PARA O PROJETO DE UMA CÉLULA DE FABRICAÇÃO

Uma célula de fabricação consiste de um grupo de máquinas de diferentes tipos capaz de produzir todos os componentes de uma determinada família. Sua concepção é definida pelas seguintes características:

- cada célula é responsável por um espectro delimitado de peças. A este conjunto de peças dá-se o nome de famílias, constituídas segundo critérios da Tecnologia de Grupo;
- a célula deve realizar, dentro do possível, todas as operações necessárias para a fabricação das peças que lhe são destinadas.

A introdução desta concepção é determinada pela possibilidade de agrupar a gama de produtos da empresa em famílias, com peças de dimensões e sequência de fabricação análogas, visando assim melhorar a utilização dos equipamentos.

Cabe salientar que a formação de famílias de peças é um importante passo na implementação dos conceitos da Tecnologia de Grupo. Lembrando que família é um nome utilizado para toda lista de peças similares.

Famílias associadas às células de fabricação são conjuntos de peças que são similares por utilizarem os mesmos equipamentos na sua fabricação.

Fica claro, então, que a primeira etapa para planejamento de uma célula de fabricação é a obtenção de famílias de peças.

Naturalmente famílias são obtidas agrupando todos os componentes que compartilham de um mesmo lote de máquinas. Em cada família, normalmente há um elemento representativo. A principal característica deste componente é que ele deve necessitar de todas as máquinas que são necessárias para a fabricação dos demais elementos da família. Este grupo de máquinas torna-se então, uma possibilidade de formação de uma célula.

Quando se utiliza um procedimento para a separação das peças em famílias e a determinação dos respectivos grupos de máquinas, o resultado deste passo pode resultar em muitos grupos independentes que são células em potencial.

A carga de trabalho vinculada a cada grupo pode diferir largamente, alguns grupos podem conter muitas máquinas,

enquanto outros podem conter poucas. Ou ainda o número de peças das famílias podem diferir largamente. Assim nem sempre um grupo de máquinas obtidas pode vir a ser uma célula adequada.

Portanto, o projeto de uma célula, além do aspecto de famílias deve envolver todos os demais aspectos de fabricação, tais como o planejamento da produção, por exemplo, o planejamento do sequenciamento mais eficiente.

O projeto de uma célula, deve então, percorrer os seguintes passos básicos:

- identificação das famílias de peças;
- desenvolvimento de possíveis células;
- análise do grupo de máquinas selecionadas.

São considerados como aspectos relevantes na tentativa de agrupamento de máquinas [21]:

- investimento em equipamentos;
- flexibilidade do sistema;
- distribuição da carga de trabalho;
- número de peças;
- frequência de fabricação;
- número de máquinas no grupo;
- política da empresa.

Nota-se assim, que algumas características de uma célula são consequência direta de seu projeto, enquanto outras dependem de como é operada. Deve-se fazer uma análise separada dos investimentos necessários e da parte dinâmica, ou de operação, que retrata dados como:

- tempo de passagem de uma peça pela célula;
- nível de trabalho em andamento;

- utilização do equipamento;
- tempo de execução dos lotes.

Basicamente, o caminho para o projeto de células de fabricação deve seguir o princípio ilustrado na figura 2.2.

Para a avaliação da célula se faz necessário obter adicionalmente dados tais como:

- tamanho do lote;
- tempos de preparação ("setup");
- tempos de operação;
- número de turnos;
- dias úteis por mês.

Após a formação de famílias e de posse destas informações, pode-se fazer um estudo sobre o melhor sequenciamento de peças para processamento na célula, ou para melhor aproveitamento dos equipamentos no layout já existente, de tal forma que os lotes necessários sejam fabricados no menor tempo possível.

A utilização do cálculo do melhor sequenciamento juntamente com a formação de famílias, para melhorar o tempo de fabricação, sem realocação de máquinas dá origem ao que certos autores tem chamado de células virtuais.

Em seguida, os tempos necessários para fabricação e as taxas de ocupação de cada máquina devem ser calculados.

Como a formação de famílias de peças e o sequenciamento são os aspectos que darão suporte relevantes para o projeto de uma célula, os métodos existentes serão analisados a seguir.

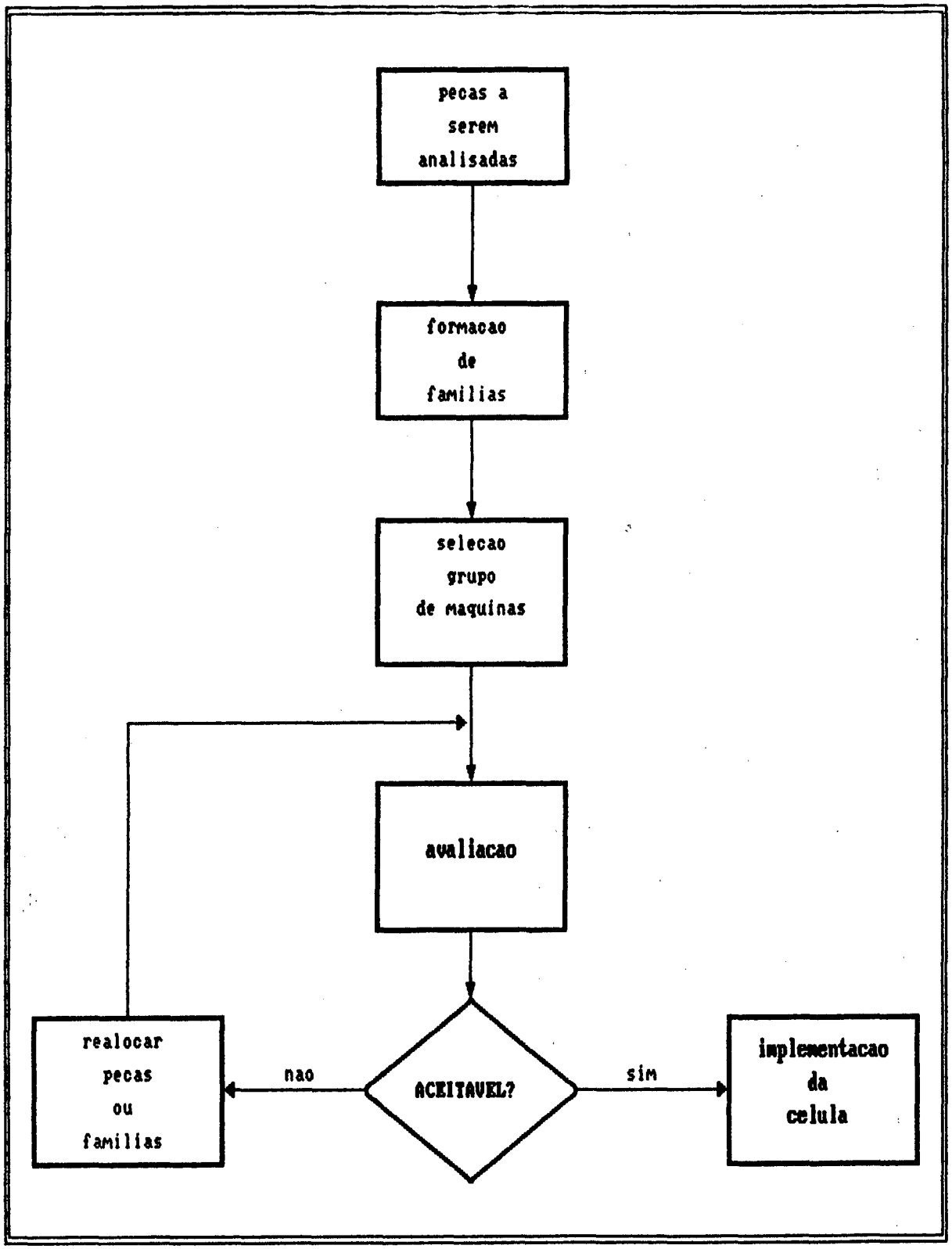

Figura 2.2 - Etapas para implementação de uma célula de fabricação.

2.2.1. Métodos de Formação de Famílias de Peças

Serão abordados a seguir os métodos existentes para a obtenção de famílias de peças. Sendo estes métodos utilizando:

- inspeção visual;
- sistema de classificação e codificação;
- análise de fluxo de fábrica;
- reconhecimento de padrões ("Pattern Recognition").

Existe muita discussão em torno dos métodos disponíveis, discutidos a seguir, para se distinguir a eficiência e aplicabilidade de cada um. Mas, no decorrer desta análise se concluirá que a utilização de um ou de outro, depende dos recursos existentes ou do caso em estudo.

2.2.1.1 - Inspeção Visual

Trata-se de uma pesquisa simples. O método se mostra limitado quando o número de peças analisadas é grande [3,7]. São classificadas as peças em famílias pela análise física ou por fotografias e agrupadas por suas similaridades [4].

A aplicação mais conhecida deste método é a da Langston Company Division (EUA) que classificou 21.000 peças usando fotografias. Foram originadas 3.000 fotos, que selecionadas visualmente originaram famílias [22].

Embora, rudimentar, este método pode ser empregado devido à sua simplicidade. Entretanto, existem métodos mais

elaborados e eficientes.

2.2.1.2 - Sistema de Classificação e Codificação

A adoção de um sistema de classificação e codificação (SCC) em uma indústria requer uma seleção adequada, face à existência de um grande número de sistemas.

Um sistema de classificação e codificação possui um papel destacado dentro do contexto da Tecnologia de Grupo (TG), não só pela sua aplicação na formação de famílias, como também pelas vantagens que ele pode proporcionar quando aplicado a setores tais como projeto do produto, planejamento de processos e outros.

Os SCC podem ser divididos em várias categorias, tais como funcionais ou descritivos, critérios qualitativos ou quantitativos, orientados para o projeto ou para a produção, estrutura tipo cadeia ou hierárquica, monocódigo ou policódigo, códigos compostos ou separados, etc... Entretanto, na maioria dos casos, cada sistema emprega uma combinação dessas características, tornando difícil uma comparação entre sistemas com base estritamente nesses pontos de vista.

A atenção, quanto à escolha de um SCC pelas indústrias, se iniciou por volta de 1960. Com o aparecimento da TG, juntamente com a possibilidade de usar o computador, não só em projeto como em produção, passou-se a dar maior importância e consideração aos SCC. Surgiram assim inúmeros SCC comerciais, tais como OPITZ, VUOSO, KK1, KK3, etc. [3,4,5,6,10,15,18,22,23].

A adoção destes sistemas por uma indústria, requer uma adequação às necessidades e recursos existentes. Desta maneira, a implantação de um SCC requer tempo e dedicação para atingir os objetivos pretendidos.

Em aplicações práticas, os SCC tem sido bastante usados para formação de famílias. A maioria dos trabalhos publicados são relatos de aplicação de SCC com número fixo de dígitos [22].

O primeiro passo para utilização de um SCC é a codificação de todas as peças segundo suas características geométricas, de forma ou de detalhes de fabricação. A codificação pode ser manual, com auxílio de computador ou, segundo pesquisas mais recentes, diretamente do banco de dados de um CAD [22,24,25,26].

A formação de famílias de peças pode ser feita baseada na similaridade dos números de código. Existem basicamente duas técnicas principais para formação de famílias. Uma é conhecida como "code number field" e outra como "characteristic data".

A primeira técnica usa uma matriz onde as colunas correspondem aos dígitos do código e as linhas aos números. A família de peças é definida especificando em cada coluna da matriz os vários números aceitos naquela família. O processo de classificação é completado comparando cada peça com a matriz pré definida.

A segunda técnica usa selecionar dígitos que são mais relevantes na tarefa de classificação em famílias. Peças com idênticos números de código são, então, colocadas juntas,

formando famílias.

Ambas as técnicas requerem um conhecimento prévio das características das famílias que se quer formar, fato que consiste em uma desvantagem, já que pode acontecer das características não serem conhecidas, demandando assim um grande tempo para especificá-las [22].

Um relato sobre a utilização do primeiro método citado para obtenção de famílias, a nível nacional, pode ser visto em [27].

Como exemplo mostra-se a seguir um caso da obtenção de família, decorrente deste sistema. Na Figura 2.3 é mostrado o código de uma peça da qual se deseja encontrar similares e a matriz relaxada para a pesquisa.

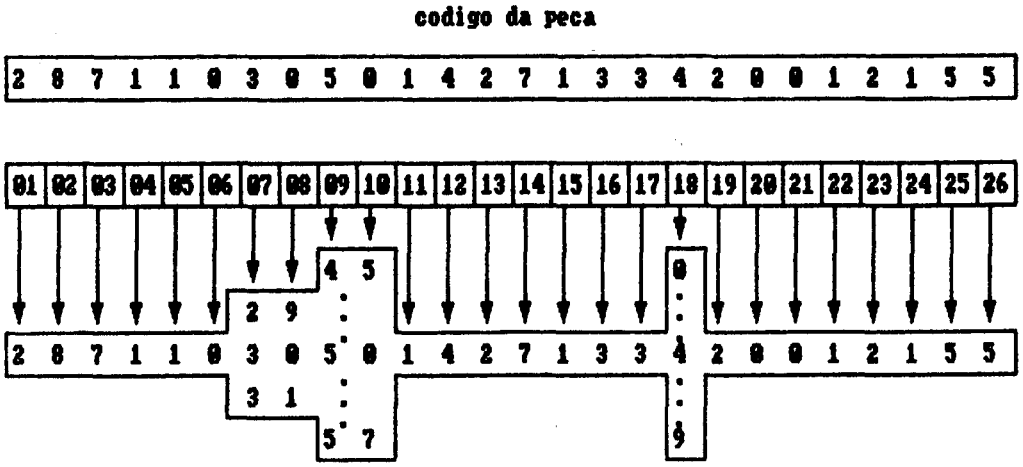

Figura 2.3 - Matriz relaxada.

Com esta flexibilidade o sistema busca, em um banco de dados, peças que se encaixam nos requisitos designados, buscando assim a formação de uma possível família de peças. Para

finalizar o exemplo, a figura 2.4, mostra a resposta do sistema apresentando as peças encontradas que se encaixam na flexibilidade designada.

PECAS ENCONTRADAS	
n. peca (fabrica)	codigo
239818	2871-1030-5014-2713-3420-0121-55
239819	2871-1030-5014-2713-3420-0121-55
239813	2871-1030-5019-2713-3120-0121-55
239807	2871-1031-5419-2713-3120-0121-55
239808	2871-1031-5219-2713-3120-0121-55
239809	2871-1031-5719-2713-3120-0121-55

Figura 2.4 - Peças encontradas.

2.2.1.3 - Análise do Fluxo de Fábrica (AFF)

Técnica inicialmente planejada pelo professor J.L. Burbidge para encontrar as famílias de peças, e o grupo associado de máquinas para assim formar uma célula de fabricação [16].

A técnica consiste de 4 fases mas, para a obtenção dos grupos de máquinas que poderão formar células de fabricação, podemos sintetizá-la em 3 fases. Sendo elas, análise do fluxo de fábrica, análise de grupo e estudo de "layout".

Na primeira fase, o fluxo de material entre departamentos da fábrica é simplificado. Na fase seguinte, a técnica simplifica o fluxo em cada departamento. Aqui, a idéia é agrupar as peças em famílias e as máquinas em grupos de maneira

que cada família de peças possa ser completamente processada dentro de uma célula de fabricação. Algumas vezes a separação ideal não pode ser encontrada e algumas soluções precisam ser adotadas.

Finalmente, na última fase a preocupação é obter o melhor "layout" de máquinas para célula de fabricação.

Na maior parte das vezes, a racionalização desejada é departamental. Por isso, cita-se a seguir as etapas necessárias à análise de grupo:

1- Dados iniciais. São as peças de um determinado departamento que se deseja analisar, ou seja, encontrar as famílias. Cabe nesta etapa discutir se todas ou parte das peças serão analisadas. Isto decidido, os dados necessários são os números das peças e suas rotas.

2- Classificação das rotas. Esta etapa consiste em arranjar as peças de acordo com as similaridades de processo. Existem várias técnicas para esta classificação, que serão analisadas a seguir.

3- Análise: nesta etapa verificam-se os grupos formados pela classificação anterior e selecionam-se as possíveis famílias e respectivos grupos de máquinas.

Pela análise pode-se chegar à conclusão que algumas peças não se encaixam em nenhum grupo. A solução é, então, verificar se o processo desta peça permite uma mudança, de tal maneira a encaixá-la em uma família, fabricá-la a em outro setor ou comprar de algum fornecedor.

O incoveniente da análise do fluxo de fábrica é que ca
os dados usados na análise são derivados das folhas de processos,

que podem não serem atualizadas ou otimizadas. Desta maneira as famílias obtidas poderão não ser as melhores possíveis. Naturalmente, uma solução para esta restrição é a revisão dos fluxos das peças [3].

A análise de grupo é, basicamente, uma matriz, na qual são assinaladas as máquinas utilizadas para cada peça. As máquinas e/ou as peças são trocadas de posição até que se formem as famílias de peças e respectivos grupos de máquinas. A figura 2.5 mostra um exemplo desta técnica.

Esta análise era feita manualmente e pode ser ainda exequível se o número de peças não for grande. Mas com um aumento do número de peças, esta análise torna-se complicada e necessário o uso do computador para executá-la. Com esta restrição, muitos algorítmos foram e estão sendo elaborados para aprimorar esta técnica.

Estes algorítmos de agrupamento peça-máquina utilizam, como citado anteriormente, uma matriz chamada quadro peça-máquina. Um "1" na entrada na linha i e coluna j da matriz indica que a peça i tem uma operação processada na máquina j; um "zero" indica o contrário. O algorítmo executado forma então as famílias e os grupos de máquinas que poderão a vir ser futuras células. Normalmente o resultado é uma diagonal na qual as entradas "1" estão concentradas ao redor da diagonal da matriz ou grupos de peças separadas.

Os algorítmos facilitam em muito a análise de grupo, sendo oriundos de métodos de agrupamento que podem ser divididos em dois grupos:

peça	número da máquina																												
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	X	X																		X			X		X					
B		X					X			X		X	X					X						X			X			
C	X		X		X										X		X												X	
D		X					X					X	X											X			X			
E								X						X		X														
F								X						X		X			X			X				X				
G	X		X		X										X		X			X			X							
H	X		X		X										X		X			X			X		X				X	
I								X						X					X			X				X				
J								X						X		X			X			X				X				
K				X		X			X		X										X							X		X
L				X		X			X		X										X									
M		X										X	X											X						
N		X					X			X		X	X					X						X			X			
O				X		X			X		X										X							X		X
P				X		X			X		X										X							X		X
Q	X		X		X										X		X			X			X		X				X	
R		X								X		X	X					X						X						
S				X		X			X		X										X							X		X
T								X						X					X			X	X			X				

(a) antes do agrupamento

peça	número da máquina																												
	02	12	13	24	27	07	10	18	01	03	05	15	17	20	23	25	29	04	06	09	11	21	28	30	08	14	19	22	26	16
B	X	X	X	X	X	X	X	X																						
D	X	X	X	X	X	X																								
M	X	X	X	X																										
N	X	X	X	X	X	X	X	X																						
R	X	X	X	X			X	X																						
A									X	X				X	X	X														
C									X	X	X	X	X				X													
G									X	X	X	X	X	X	X															
H									X	X	X	X	X	X	X	X	X													
Q									X	X	X	X	X	X	X	X	X													
K																		X	X	X	X	X	X	X						
L																		X	X	X	X	X								
O																		X	X	X	X	X	X	X						
P																		X	X	X	X	X	X	X						
S																		X	X	X	X	X	X	X						
T															X										X	X	X	X	X	
E																									X	X				X
F																									X	X	X	X	X	X
I																									X	X	X	X	X	
J																									X	X	X	X	X	X

(b) depois do agrupamento

Figura 2.5 - Análise de grupo.

(i) os métodos baseados em arranjo;

(ii) métodos de análise de agrupamento.

a diferença reside no uso ou não de coeficientes de similaridade e um procedimento de agrupamento [22].

(i) - Métodos baseados em arranjo

A entrada básica para este método é a matriz citada. Estes são os algorítmos que tentam rearranjar a matriz, tal que os entradas "1" calam em grupos separados, formados ao longo da diagonal da matriz. Através da transformação da matriz inicial, por permutação de linhas e de colunas, se obtém outra matriz, estruturada de tal forma que se torna fácil identificar os grupo de peças e máquinas [28]. Um exemplo disto é visto na figura 2.6, onde a matriz A é a entrada dos dados iniciais, e a matriz B é o resultado do rearranjo das linhas e colunas, identificando duas células de máquinas e duas famílias de peças.

Entre estes métodos pode-se citar o "Bond-Energy" aplicado em 1972, o método "Rank Order" e o método de agrupamento direto [22,29,30,31]

O método "Rank Order" requer menos tempo que o "Bond-Energy" e pode tratar com máquinas de uso em mais de um grupo. As peças que utilizam estas máquinas, ou seja, requerem processamento em dois grupos são chamadas de excepcionais ou complexas. O incoveniente deste algorítmo é que os resultados oferecidos por ele se mostram dependentes da configuração inicial da matriz peça-máquina. O método de agrupamento direto também

lida com máquinas de uso em grupos diferentes e peças complexas [22].

Todos estes algorítmos são discutidos em literatura [22,29,30,31,32,33].

numero de identificacao das maquinas

$$|x_{ij}| = \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \begin{bmatrix} & 1 & & 1 & 1 \\ 1 & & 1 & & \\ & 1 & & 1 & \\ 1 & & 1 & & \end{bmatrix} \end{array} \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array}$$

numero de identificacao das pecas

matriz A

celula 1 celula 2

$$\begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 1 & 3 & 2 & 4 & 5 \end{array} \\ \left[\begin{array}{cc|ccc} 1 & 1 & & & \\ 1 & 1 & & & \\ \hline & & 1 & 1 & 1 \\ & & 1 & 1 & \end{array}\right] \end{array} \begin{array}{c} 2 \\ 4 \\ 1 \\ 3 \end{array}$$

→ familia 1

→ familia 2

matriz B

Figura 2.6 - Rearranjo de matrizes.

Uma das desvantagens destes métodos apresenta-se em situações que dão origem a matrizes de grande dimensão, onde

torna-se difícil visualizar os grupos pois, em muitos casos, não se verifica que a matriz máquinas-peças tenha uma estrutura diagonal dos blocos.

(ii) - Métodos baseados em análise de agrupamentos

O objetivo da análise de agrupamento é a divisão de uma coleção de objetos, cada objeto representado por um certo número de características, em grupos de objetos similares, através de alguns critérios ou medidas de similaridades. As medidas de similaridades que podem ser expressas por coeficientes, incorporam mais flexibilidade ao processo de agrupamento máquina-peças e dão mais facilidades para aplicação de recursos computacionais.

Formalmente, dado N objetos representados pelos vetores X1, X2, ..., XN em um espaço R^n , o processo de agrupamento procura a separação do espaço em subregiões $R1^n$, $R2^n$,..., Rm^n onde cada objeto cai em uma e somente uma destas regiões. Em outras palavras, as subregiões satisfazem as condições:

$$R1^n \cup R2^n \cup \ldots \cup Rm^n = R^n$$

e

$$R1^n \cap Rj^n = \emptyset \quad , \; i \neq j$$

Além de uma função de similaridade estes tipos de algorítmos podem se utilizar de uma função distância. Como exemplo de função distância, pode-se citar a distância Euclideana, que é bastante comum [22]. Dado dois vetores Xi e Xj

a distância Euclideana Dij entre eles é expressa por:

$$Dij = |Xi - Xj| = (\sum_{k=1}^{n} (Xik - Xjk)^2)^{1/2} \qquad (2.1)$$

onde n é o espaço dimensional e Xik é o valor da variável para a posição k do vetor Xi. É óbvio que quanto menor a distância Dij, maior a similaridade entre Xi e Xj.

Muitos algorítmos de agrupamento têm sido reportados na literatura, sendo muitos deles heurísticos. A pesquisa heurística usa uma medida de similaridade e um lote de regras para designar elementos para uma classe.

Algorítmos de agrupamento podem ser também caracterizados como métodos aglomerativos ou divisivos de acordo com a sequência com a qual as peças são agrupadas.

Um algorítmo de agrupamento baseado nestas técnicas é uma poderosa ferramenta para descobrir a estrutura do grupo existente em um lote de dados [22].

Análise de agrupamento foi primeiramente aplicada para o problema de formação de famílias de peças em análise de fluxo de fábrica por McAuley [22]. O método chamado "Single Linkage Cluster Analysis", faz uso de um coeficiente de similaridade definida para cada par de máquinas A e B como a razão entre o número de componentes que visitam ambas máquinas e a soma do número de componentes que visitam a máquina A ou máquina B.

A escolha do coeficiente de similaridade e do algorítmo de agrupamento depende do problema estudado. Medidas diferentes de similaridades usadas com o mesmo algorítmo dão

separações distintas, quando aplicadas para o mesmo lote de dados [22].

Existem vários algorítmos baseados nesta técnica, largamente analisados na literatura [17,34,35].

2.2.1.4 - Reconhecimento de Padrões ("Pattern Recognition")

Um objetivo comum de sistemas baseados em reconhecimento de padrões é o reconhecimento de membros de uma dada classe em um lote contendo muitas classes de modelos. Um modelo descreve um membro de uma categoria representando uma classe. A tarefa de reconhecimento de padrões pode ser dividida em 3 fases: aquisição, pré processamento de dados e decisão de classificação.

Em geral, este tipo de sistema aceita entrada de dados, transforma-os em uma forma adequada e responde com uma saída indicando a classificação do dado de entrada. Reconhecimento de padrões tem sido tradicionalmente usado em diagnósticos médicos, previsão de tempo, processamento de imagem, reconhecimento de voz, etc.

A aplicação de reconhecimento de padrões em TG normalmente consiste na classificação de novas peças em famílias de peças previamente formadas. Com a utilização prévia de uma análise de agrupamento, pode-se formar várias famílias. Aplicando reconhecimento de padrões as novas peças são, então, classificadas na família mais adequada, sem que seja necessário analisar todo o lote de peças novamente.

2.2.2 - Sequenciamento da produção

O problema de sequenciamento é o de definição de ordem (séries, prioridades, etc.) sobre um lote de trabalhos (tarefas, ítens, etc.), isto é, como eles seguem, de uma máquina para outra [36]. Assim, o problema de sequenciamento envolve a determinação da posição relativa do trabalho i em relação a todos outros trabalhos. Este tipo de problema ocorre em muitos ambientes diferentes. Existe quando há uma escolha, da ordem na qual várias tarefas podem ser feitas. Um problema pode envolver trabalhos em uma fábrica, aviões esperando por autorização de aterrisagem ou programas para serem executados em um centro de computação.

A pesquisa para solucionar o problema de encontrar uma sequência ótima ou próxima da ótima, tem produzido técnicas de soluções exatas e aproximadas. As técnicas exatas resolvem o problema em princípio, mas em muitos dos casos, o tempo de computação e a memória requerida são proibitivos mesmo para pequenos problemas. Por outro lado, os algorítmos heurísticos, apesar de não necessariamente providenciarem a solução ótima para o problema, são, para a maior parte um eficiente e econômico caminho para se obter uma solução próxima da ótima [36].

Depois de determinar os ítens e as quantidades ótimas a serem produzidas e decidir o processo de produção, uma implementação real para o tempo de sequenciamento deve ser estabelecida.

Basicamente, o sequenciamento pode atender a dois

casos extremos:

- o "job shop", na qual cada uma das tarefas tem a mesma probabilidade de ser operada em qualquer máquina, dentro de qualquer sequência.
- o "flow shop", no qual todas as tarefas devem passar pelas M máquinas, seguindo uma mesma sequência.

Estes casos ainda podem se diferenciar, com respeito ao processo de chegada das tarefas, se as tarefas são programadas ou não.

Para um sistema de fabricação tal como o "flow shop" onde a ordem das máquinas é completamente idêntica para todas as tarefas a serem processadas, a determinação do sequenciamento é relativamente mais simples. Este modelo é típico de produção em massa. Por outro lado, é difícil determinar um sequenciamento ótimo para sistemas do tipo "job shop" [37].

Como este estudo visa mudar o layout funcional (onde o sequenciamento é realizado em "job shop"), para o layout de grupo (onde se tenta uma programação de sequenciamento em "flow shop"), se reduz em muito o número de combinações necessárias para chegar a uma solução para o problema. Para o "job shop" o número de combinações possíveis para n trabalhos e m máquinas é $(n!)^m$. Com a formação de células de fabricação a amplitude do problema cai para n! alternativas possíveis [15,37].

2.3 - SITUAÇÃO ATUAL

O sistema denominado "Cell Design Aid", de uma

empresa de consultoria foi um desenvolvimento realizado para projetar e reorganizar operações de fabricação em células, automaticamente, baseado em conceitos de Tecnologia de Grupo [38].

Interações entre sistema e usuário permitem o rearranjo das peças fabricadas e máquinas existentes em um número adequado de células ou estações de trabalho.

O sistema realiza o projeto inicial, avaliação, afinação e modificação das células de fabricação e separa automaticamente as células, através de uma análise nas rotas de processo de cada peça. Também compara peça a peça, quais processos são iguais ou quantos cada peça deixa de usar. Baseado nisto, a peça é aceita ou rejeitada nesta célula. Depois de classificar todas as peças nas respectivas células são atribuídas as máquinas adequadas à fabricação destas, de acordo com as características requeridas pelo processo necessário.

O sistema permite o "pulo" da peça de uma máquina ou mais, ou a execução em uma máquina adiante na célula e depois voltar. Há um critério para que o usuário escolha o tipo de fluxo dando pesos a peças, de maneira a evitar que uma peça que necessite voltar de uma máquina para a anterior, faça parte de determinada célula que se deseja somente o "flow shop".

O sistema fornece dados estatísticos correspondentes as peças, processos e máquinas. Basicamente este sistema funciona segundo o esquema representado na figura 2.7.

Infelizmente a referência consultada não traz informação sobre os algorítmos utilizados no sistema.

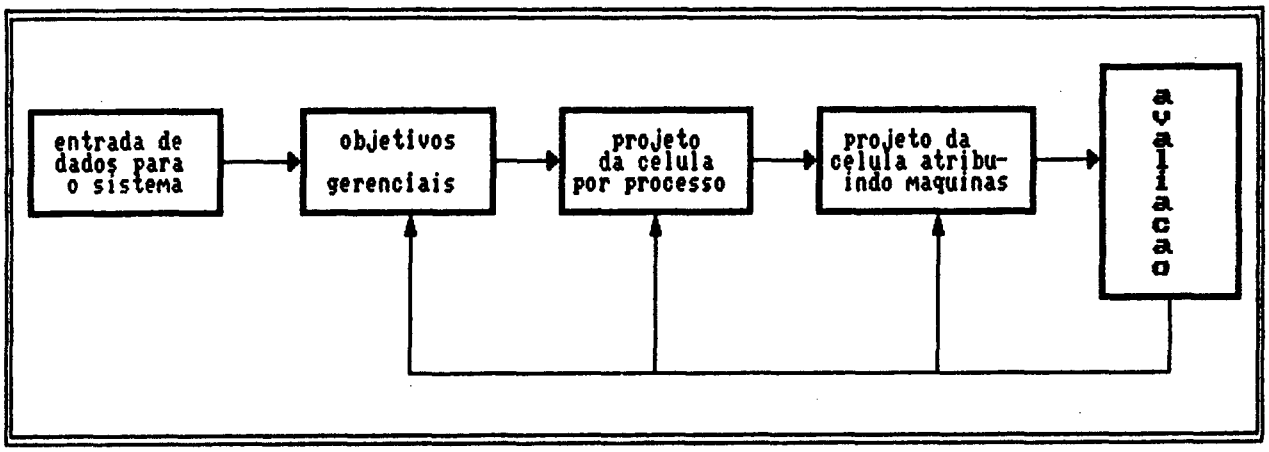

Figura 2.7 - Representação esquemática do sistema "Cell Design Aid"

Uma outra citação sobre projeto para formação de células de fabricação é de uma indústria que fabrica turbinas a gás [39,40]. A fábrica foi reprojetada com enfase em aspectos de layout, processos e funções de suporte. A fábrica tinha sido originalmente projetada segundo o layout funcional, mas, a partir da fabricação de alguns tipos novos de equipamentos, este tipo de layout se mostrou inadequado.

A decisão de buscar uma solução adequada visava custo, qualidade e programação eficiente. Adicionalmente a estes objetivos foram aprimorados processos de fabricação, sistemas de informações, organização da qualidade e recursos humanos. A principal meta era otimizar a produção com recursos existentes, buscando com isto uma base para incorporar futuras tecnologias de modernização. Segundo a referência foram pesquisados "softwares"

existentes, mas os sistemas de classificação e codificação disponíveis foram designados como complexos, demandando tempo para sua implantação. Por isto desenvolveu-se um sistema chamado de OPSNET, que utiliza dados existentes da fabricação (processo) e dados de projeto para reprojetar a fábrica. O sistema classifica uma população de peças com um sistema de monocódigo. Sendo definido um processo genérico para cada família de peças. Assim, o processo genérico define o fluxo ótimo de material, equipamentos e recursos necessários para definir uma célula de fabricação. Basicamente, o sistema requer os seguintes dados de entrada:

- informações de cada peça (número de identificação da peça);
- suas rotas e os tempos padrões de suas respectivas operações;
- os níveis de necessidade de produção de cada peça.

Como saída apresenta:

- famílias;
- projeto de células de fabricação das famílias;
- identificação de necessidades de novos equipamentos.

Uma terceira citação propõe um novo conceito de formação de famílias de peças em que as células são inicialmente formadas e as peças são alocadas mais tarde [41]. De posse de estatísticas levantadas por OPTIZ, sobre os tipos de peças estabeleciam células para um espectro de peças, eliminando assim sistemas de classificação e codificação e análise de fluxo de fábrica.

Estabelecida a relação existente entre tipos diferentes de componentes, por exemplo, razão de peças rotacionais e não rotacionais, somando a isto, dados obtidos de

uma análise estatística sobre máquinas ferramentas, há uma indicação estável da relação na distribuição de tipos específicos de máquinas. Este sistema desenvolvido não avalia o comportamento da célula a ser formada.

Verifica-se assim, que em todos casos citados, há uma preocupação com a formação de famílias de peças e nos dois primeiros também com a estimativa do comportamento da célula a ser formada. Confirmando assim os aspectos discutidos no item 2.2.

CAPÍTULO 3

3 - DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA

Propõe-se elaborar uma sistemática de planejamento para formação de células de fabricação, que reduza a interferência humana. A idéia é desenvolver uma metodologia que implementada em um sistema protótipo informatizado, ajudará na solução do problema. Os aspectos que envolvem esta idéia básica são esquematizados na figura 3.1.

Como analisado anteriormente, para se compor as células e para que elas sejam eficientes, o primeiro passo é a formação de famílias. Foram citados os diversos métodos para a sua formação. O método selecionado para esta pesquisa foi um algorítmo baseado em análise de fluxo de fábrica que combina técnicas de agrupamento e heurística [22]. Este algorítmo tem a vantagem de separar as famílias automaticamente, não deixando margem para critérios pessoais de avaliação, como a maior parte dos algorítmos que utilizam este método.

O método selecionado será detalhado a seguir, inclusive citando as alterações feitas, junto com um teste de desempenho, comparando-o a outros algorítmos.

O método de análise de fluxo de fábrica pode ter uma interface com um sistema de classificação e codificação, se existente, possibilitando assim uma recuperação de dados. Para este método só necessita-se das peças e das máquinas visitadas,

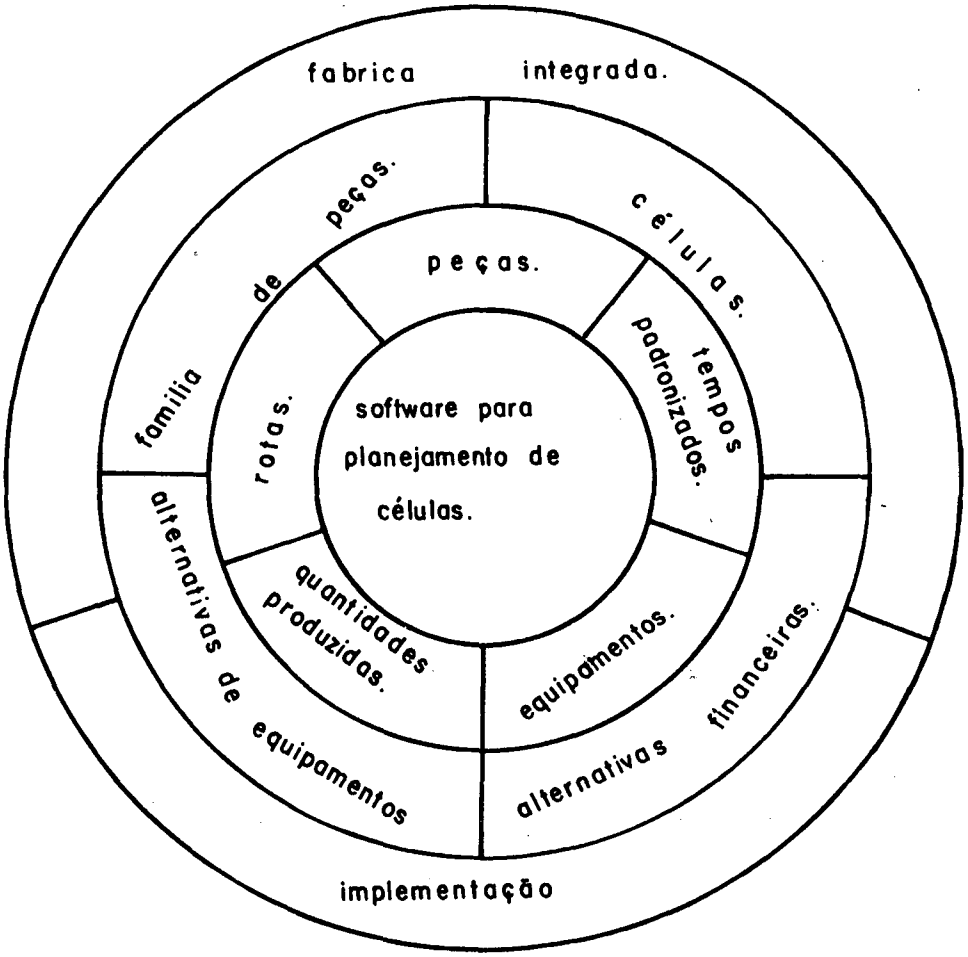

Figura 3.1 - Aspectos de um sistema informatizado para planejamento de células.

dispensando qualquer adaptação para sua utilização em qualquer empresa.

Uma vez reunidos os possíveis grupos de máquinas e famílias, como primeiro passo para avaliar as possíveis células, faz-se o planejamento do sequenciamento mais eficiente das

famílias pré-estabelecidas.

Devido ao objetivo da pesquisa foi selecionado um algorítmo heurístico aplicado a uma situação de "flow shop" para uma família de peças. O algorítmo analisado em [36] terá sua eficiência comentada, tendo sido, para a situação prevista, considerado adequado.

Os resultados do sequenciamento, para uma melhor visualização, deverão ser traduzidos em um gráfico de Gantt, tanto o resultado do sequenciamento sucessivo unidirecional como o sequenciamento paralelo. Ambos métodos serão analisados a seguir.

Em seguida, os tempos de passagem, ocupação de máquinas e fabricação de todo o lote deverão ser calculados.

Com estes dados levantados deverá ser possível realizar uma análise criteriosa, sobre a viabilidade da célula de fabricação em estudo.

3.1 - ALGORÍTMO DE FORMAÇÃO DE FAMÍLIA

3.1.1 - Representação das peças e dados de entrada

Considerando um lote de n máquinas usadas para processar um lote de m peças P = (x1, x2, ..., xm), cada peça xi pode ser representada por um vetor binário (xi1, xi2, ..., xik, ,..., xin) onde os componentes xik identificam as máquinas necessárias para processar a peça i. Portanto, se xik = 1 a máquina k é necessária, caso contrário não (xik = 0). Os dados de

entrada são então, um lote de vetores binários descrevendo as peças, constituindo assim uma matriz em que as linhas correspondem às peças e as colunas, as máquinas.

3.1.2 - Medida de similaridade

Duas diferentes medidas de similaridade são adotadas neste algorítmo. A primeira é a função distância "Hamming". A segunda é um coeficiente desenvolvido por "Vila" [22].

3.1.2.1 - Distância "Hamming"

É um caso particular de uma função mais geral (Minkowski) [22]. Dado duas peças X e Y e seus correspondentes vetores (X1, X2, ..., Xn) e (Y1, Y2, ..., Yn), a função distância "Hamming" é definida por:

$$d(x,y) = \sum_{k=1}^{n} |Xk - Yk| \qquad (3.1)$$

Para representação binária, a distância "Hamming" entre duas peças dá o número de características diferentes entre elas.

3.1.2.2 - Medida de similaridade de "Vila"

Coeficiente que indica como dois lotes de máquinas,

representando duas peças, intercepta cada um.

Dado duas peças X e Y, o coeficiente de similaridade S(X, Y) é calculado como:

$$S(x,y) = \frac{n\ (x-y)}{n\ (x \cap y)} \qquad (3.2)$$

onde

n(X − Y) = número de máquinas requeridas pelo componente X e não requeridas pelo componente Y.

n(X ∩ Y) = número de máquinas comuns requeridas por ambos componentes.

O diagrama de Venn da Figura 3.2 representa esquematicamente a definição deste coeficiente.

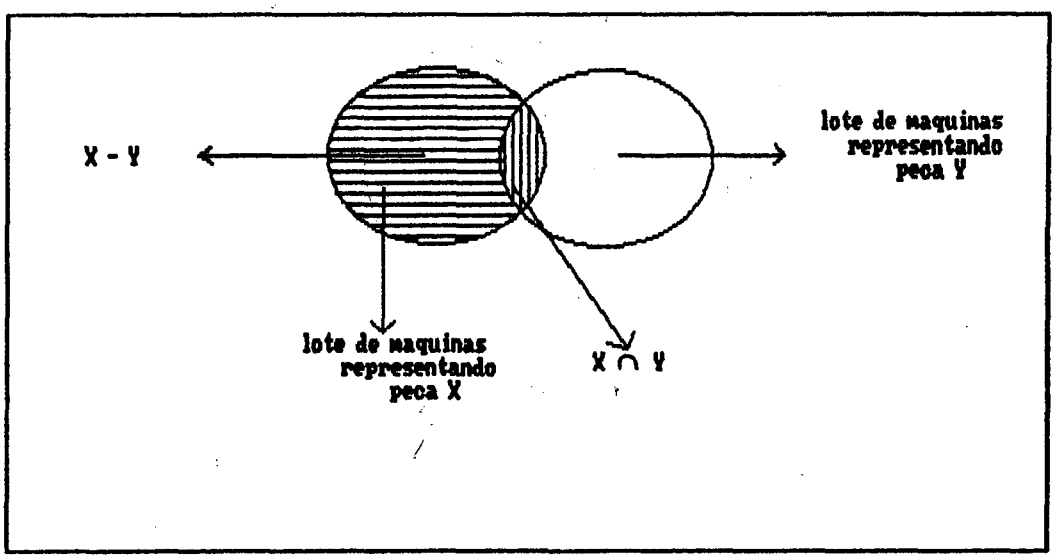

Figura 3.2 - Diagrama de Venn, para o coeficiente S(X,Y)

Como exemplo deste coeficiente, tendo X = (A, B, C, D, E) e Y = (A, B, C, F, G) onde X e Y são as peças representadas

por suas respectivas máquinas, o coeficiente de "Vila" seria então, utilizando a expressão (3.2).

$$n(X - Y) = (D, E)$$

$$N(X \cap Y) = (A, B, C)$$

logo, $S(X, Y) = 2/3$.

Os valores possíveis dos coeficientes de similaridade de "Vila" caem dentro do intervalo $(0,\infty)$.

Se $S(X, Y) = 0$ o lote de máquinas do componente X esta contido no lote de máquinas do componente Y. Neste caso o vetor binário representando o componente Y é dito como dominante e o vetor binário que representa o componente X é dito como dominado. E, por conclusão, os componentes podem ser produzidos nas mesmas máquinas.

Se a intersecção é nula ($n(X \cap Y) = 0$) então $S(X, Y)$ não é definida e os componentes X e Y precisam ser fabricados em duas células distintas.

3.1.3 - Centróide

Considere um lote de vetores representativos de peças divididas em M grupos w1, w2, ..., wm e o número de peças em cada grupo sendo Nj, j = 1, 2, ..., m. Sabe-se que cada peça no lote de dados é representada por um vetor Xi tendo n componentes. O vetor médio de cada grupo j é dado pelo centróide:

$$Z_j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{n} X_i \qquad (3.3)$$

3.1.4 - Parâmetro $\bar{R}$

Dada uma separação com M agrupamentos, a medida de separação de agrupamento Rij entre dois agrupamentos i e j é definido como:

$$R_{ij} = \frac{[S_i + S_j]}{M_{ij}} \qquad (3.4)$$

onde Si e Sj são as medidas de dispersão para os agrupamentos i e j, respectivamente.

A medida de dispersão adotada é a distância "Hamming" média entre os membros do agrupamento i, que é:

$$S_i = \frac{1}{N_i} \sum_{k=1}^{N_i} |X_k - Z_i| \qquad (3.5)$$

onde Ni = número de peças do agrupamento i

Zi = Centróide do agrupamento i

A medida de similaridade satisfaz as seguintes propriedades:

$S \geqslant 0$ e $S = 0$ somente se os membros dos agrupamentos são idênticos. Em (3.4) Mij é a distância entre centróides dos agrupamentos, então:

$$M_{ij} = \sum_{k=1}^{n} |X_k - Y_k| \qquad (3.6)$$

sendo: Xk = centróide do agrupamento i

Yk = centróide do agrupamento j

$\bar{R}$ é o parâmetro de medida que terá seu valor analisado para dar a melhor separação.

$$\bar{R} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M} RI \qquad (3.7)$$

onde: M = número de agrupamentos

RI = máximo de RIj, I ≠ j

Quanto menor o valor de $\bar{R}$ melhor será a partição do conjunto em subconjuntos ou famílias. Afim de se tornar mais claro o cálculo de $\bar{R}$, a seguir, será analisado um caso para seu cálculo.

Se o número de agrupamentos for igual a 3 e apresentar, por exemplo, o seguinte aspecto:

grupo 1: P1 (1, 1, 1, 1, 0, 0)
P2 (1, 1, 0, 0, 0, 0)
P3 (1, 0, 0, 0, 0, 0)

~~grupo 2:~~ P5 (0, 0, 0, 1, 1, 1)
P6 (0, 0, 0, 1, 0, 0)
P8 (0, 0, 0, 1, 0, 0)

grupo 3: P10 (0, 0, 1, 1, 1, 1)
P13 (0, 0, 0, 1, 1, 0)

Os centróides calculados através de (3.3), serão:

Z1 = (1, 2/3, 1/3, 1/3, 0, 0)
Z2 = (0, 0, 0, ~~2/3~~ 1, ~~2/3~~ 1/3, ~~2/3~~ 1/3)
Z3 = (0, 0, 1/2, 1, 1, 1/2)

As medidas de dispersão de cada grupo através de (3.5), serão:

$$S1 = \frac{1}{3}\left[\left|(1-1)\right|+\left|(1-\frac{2}{3})\right|+\left|(1-\frac{1}{3})\right|+\left|(1-\frac{1}{3})\right|+\right.$$

$$+0+0+\left|(1-1)\right|+\left|(1-\frac{2}{3})\right|+\left|(0-\frac{1}{3})\right|+\left|(0-\frac{1}{3})\right|+$$

$$\left.+0+0+\left|(1-1)\right|+\left|(0-\frac{2}{3})\right|+\left|(0-\frac{1}{3})\right|+(0+0)\right] = 3,99$$

analogamente:

$$S2 = 3,99 = 8/3$$

$$S3 = 2$$

As distâncias entre centróides, através de (3.6), são:

$$M12 = \left[1+\frac{2}{3}+\frac{1}{3}+\frac{1}{3}+\frac{2}{3}+\frac{2}{3}\right] = 3,67$$

$$M13 = \left[1+\frac{2}{3}+\left|(\frac{1}{3}-\frac{1}{2})\right|+\left|(\frac{1}{3}-1)\right|+1+\frac{1}{2}\right] = 4,01$$

$$M23 = \left[0+0+\frac{1}{2}+\left|\frac{2}{3}-1\right|+\left|\frac{2}{3}-1\right|+\left|-\frac{2}{3}-\frac{1}{2}\right|\right] = 1,33$$

Utilizando (3.4) as medidas de separação entre agrupamentos é:

$$R12 = \frac{S1 + S2}{M12} = \frac{3,99 + 3,99}{3,67} = 2,17$$

$$R13 = \frac{S1 + S3}{M13} = \frac{3,99 + 2}{4,01} = 1,49$$

máximo R12 = 2,17

R21 = 2,17

R23 = 4,5

máximo R23 = 4,5

R31 = 1,49

R32 = 4,5

máximo R32 = 4,5

Logo calculando $\bar{R}$, através de (8), tem-se:

$$\bar{R} = \frac{1}{3} [R12 + R23 + R32] = 3,72$$

3.1.5 - Detalhando o algorítmo

O algorítmo utilizado para formação de famílias, é uma adaptação do algorítmo de "Vila". Foram realizadas algumas alterações para satisfazer a aplicação desejada. Estas mudanças serão discutidas no decorrer desta análise. A síntese do algorítmo esta na figura 3.3.

Nos dois primeiros passos são encontradas as famílias naturais. A primeira alteração foi feita nesta etapa. O critério adotado anteriormente para encontrar os vetores dominantes e os respectivos dominados, não foi suficiente para dar consistência matemática a todos os casos analisados. Como, por exemplo, executando o programa com o mesmo grupo de peças trocando-se a ordem.

A solução adotada antes, de ordenar decrescentemente por número de máquinas foi acrescida de um sistema de pesos. Este sistema de pesos, aliado ao fator de reordenação por número de máquinas, consolida a consistência matemática do algorítmo. Para exemplificar, imagine o arquivo de entrada abaixo, onde a primeira coluna representa o número da peça, e as demais colunas as máquinas que processam cada uma destas peças.

12	1	1	1	0	0	1	1
7	1	1	0	1	1	0	0
6	1	1	1	1	1	0	0
4	1	1	1	1	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	1
8	1	1	0	1	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0
9	1	1	1	0	0	0	0
10	0	1	0	0	0	0	0
11	0	1	1	0	0	0	0

Reordenada pelo número de máquinas esta matriz ficaria assim,

12	1	1	1	0	0	1	1
6	1	1	1	1	1	0	0
7	1	1	0	1	1	0	0
4	1	1	1	1	0	0	0
8	1	1	0	1	0	0	0
9	1	1	1	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	1
11	0	1	1	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0
10	0	1	0	0	0	0	0

com o critério de pesos, que analisa cada grupo de peças com mesmo número de máquinas, a reordenação leva em conta também a posição da máquina. Analisando as duas primeiras peças, com este critério de pesos, nota-se que o peso é a potenciação de base 2 e expoente a ordem da máquina. Este exemplo é visto a seguir:

12 1 1 1 0 0 1 1 peso $2^7 + 2^6 + 2^5 + 2^2 + 2^1 = 230$

6 1 1 1 1 1 0 0 peso $2^7 + 2^6 + 2^5 + 2^4 + 2^3 = 248$

portanto a matriz de entrada reordenada desta maneira fica assim:

6	1	1	1	1	1	0	0
12	1	1	1	0	0	1	1
4	1	1	1	1	0	0	0
7	1	1	0	1	1	0	0
9	1	1	1	0	0	0	0
8	1	1	0	1	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	1
11	0	1	1	0	0	0	0
10	0	1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0

1 - *Encontrar os vetores dominantes.*

2 - *Atribuir os vetores dominados aos dominantes (famílias naturais), observando o procedimento de reordenação dos dados de entrada.*

3 - *Calcular o centróide Zi para cada agrupamento.*

4 - *Eliminar as peças sozinhas. Calcular o coeficiente de similaridades S entre cada peça sozinha e os vetores dominantes que permaneceram. Se* $S \leq 0.5$, *atribuir a peça ao correspondente vetor dominante, caso contrário tirar a peça do lote de dados. Calcular os centróides atualizados.*

5 - *Calcular o parâmetro* $\bar{R}$ *para a separação inicial. Que será para início dos cálculos, a melhor separação.*

6 - *Se a separação das famílias de peças for menor que 2 executar passo 9.*

7 - *Calcular a distância "Hamming" entre centróides. Juntar as famílias de peças correspondentes ao par de centróides mais próximos. Subtrair o número de famílias de um.*

8 - *Calcular* $\bar{R}$ *para a atual separação. Comparar com o* $\bar{R}$ *da separação anterior. Se* $\bar{R}$ *for menor esta separação passa a ser a melhor separação. Volte para o passo 6.*

9 - *Apresentar a melhor solução.*

Figura 3.3 - Algorítmo para formação de famílias.

Este passo é básico para solução computacional para obtenção dos vetores dominantes e dominados.

Como se observa no algorítmo, a eliminação de peças isoladas é feita a partir do cálculo efetuado com o coeficiente de similaridade da equação (3.2). Se o valor S(X,Y) entre uma peça e um agrupamento é menor ou igual a 0.5, então a proporção de máquinas comuns é alta o suficiente para justificar a união deles, resultando em um agrupamento mais amplo. Como citado em referência [22], o valor 0.5 trabalha bem em testes e por isto foi adotado. Naturalmente é possível escolher qualquer valor para S(X,Y).

Depois da eliminação dos agrupamentos unitários, utilizando um algorítmo de agrupamentos hierárquico, o método centróide, baseado na distância "Hamming", junta-se os grupos que permaneceram. Agrupam-se famílias que minimizam a distância entre centróides.

Para cada separação o parâmetro $\bar{R}$ é calculado. E a saída final é a que minimiza $\bar{R}$. Aqui se encontra a segunda alteração. No algorítmo de "Vila" existe a preposição, para indicar o número estimado de famílias que deve ser encontrado. Levando em consideração que não se tenha estimativas sobre o lote de peças a ser analisado, optou-se para calcular $\bar{R}$ até se ter o número de famílias igual a dois.

3.1.6. Avaliação de desempenho

A análise, para avaliação do desempenho, foi

realizada comparando o número de peças coincidentes em cada família. Família resultante do algorítmo utilizado, com família obtida pelo método a ser confrontado. Os resultados são demonstrados esquematicamente na figura 3.4.

Nota-se que a coincidência frente a casos apresentados é relativamente alta. Para exemplificar os números conseguidos para a figura 3.4, segue-se um exemplo de como foram levantados os dados, do "Similarity Coeficient Method" frente ao algorítmo utilizado [35]. A tabela 3.1 ilustra os resultados, para este caso.

n da familia	algoritmo utilizado (pecas)	similarity coeficient method (pecas)	% de coincidencia
1	02 04 10 18 28 32 37 38 40 42	02 04 07 10 18 28 32 37 38 40 42	91
2	19 09 16 15 23 29 41 33 08 05 14 43 21	08 09 14 15 05 16 19 21 23 29 33 41 43	100
3	01 25 39 12 12 13	12 13 25 26 31 39 03 01	62
4	24 03 22 30 11 27 26 31 20	11 20 22 24 27 30	66
5	17 07 36 35 34 06	06 17 34 35 36	83

Tabela 3.1 - Coincidência entre famílias.

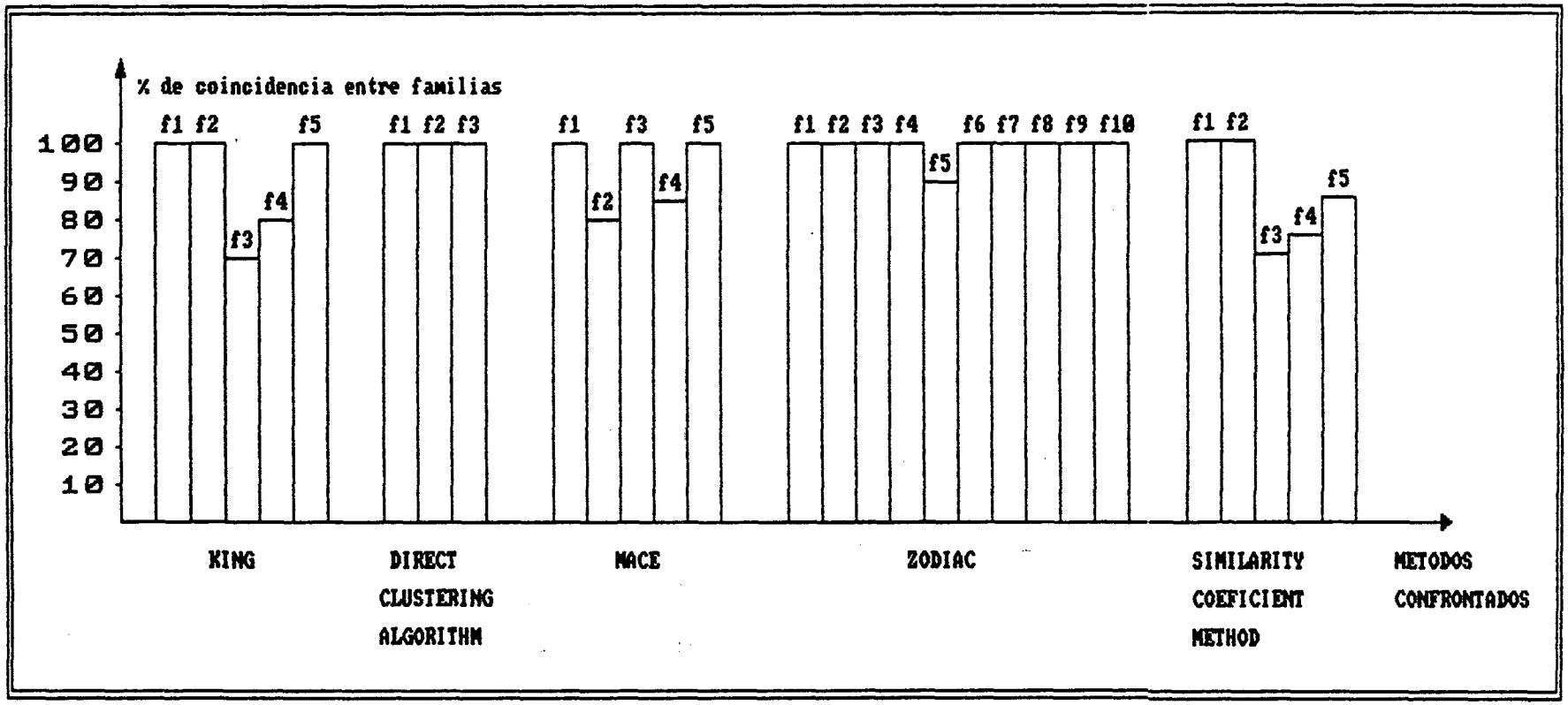

Figura 3.4 - Gráfico (porcentagem de coincidência entre famílias formadas por diversos métodos e o método utilizado).

3.2 - SEQUENCIAMENTO

O problema de sequenciamento em "flow shop" pode ser entendido como:

- Dado n peças para serem processadas em m máquinas na mesma ordem, o tempo de processamento da peça i sobre a máquina j, $t_{i,j}$ ($i = 1, 2, \ldots, n$; $j = 1, 2, \ldots, m$), encontrar a sequência de peças que o tempo total de processamento (fabricação) seja minimizado.

3.2.1 - Sequenciamento sucessivo unidirecional

Este método de sequenciamento é aquele em que a melhor ordem de fabricação de lotes é calculada considerando que somente após o término do processamento de um lote de peças sobre determinado equipamento ele é liberado para ser processado em um outro posterior.

O algorítmo utilizado baseia-se na suposição que a um trabalho com maior tempo total de processo sobre todas máquinas, deveria ser dado maior prioridade que a um trabalho com um menor tempo total de processo. Por trabalho, pode-se entender peças que serão processadas pelas máquinas.

Os dois trabalhos com tempo total de processo mais altos são selecionados dos n-trabalhos. A melhor sequência parcial para estes dois trabalhos é encontrada considerando as duas possíveis programações parciais. A posição relativa destes

dois trabalhos com relação a cada outro é fixada nos passos seguintes do algorítmo. A seguir, o trabalho com o terceiro mais alto tempo total de processo é selecionado e as três sequências parciais são testadas. Este trabalho é colocado no começo, no meio e no fim da sequência parcial encontrada no primeiro passo. A melhor sequência fixa a posição relativa para estes trabalhos, para os passos remanecentes. Este processo é repetido até todos os trabalhos serem fixados e uma sequência completa ser encontrada. O número de iterações do algorítmo é:

$$\frac{n\,(n+1)}{2} - 1 \qquad (3.8)$$

Nota-se que desta maneira o número de combinações para encontrar a solução se reduz bastante, tendo em vista que se fosse testar todas as possíveis combinações seriam n!

A figura 3.5 apresenta o algorítmo passo por passo.

Este algorítmo será detalhadamente explicado por que se trata da base para uma adaptação utilizada nesta pesquisa. Vejamos um exemplo numérico de sua utilização. O exemplo retirado de [36] resolve o problema para 4 peças ou trabalhos e 5 máquinas.

A matriz de tempos de operação é mostrada na tabela 3.2 a seguir.

		Máquinas (m)				
		1	2	3	4	5
peças (n)	1	5	9	8	10	1
	2	9	3	10	1	8
	3	9	4	5	8	6
	4	4	8	8	7	2

Tabela 3.2 - Matriz de tempos de operação

1 - Calcular

$$Ti = \sum_{j=1}^{m} t_{i,j}$$

onde ti,j *é o tempo de processo da peça* i *sobre a máquina* j.

2 - Arranjar os trabalhos em ordem decrescente de Ti.

3 - Selecionar os dois trabalhos provenientes da primeira e segunda posição do passo 2. Encontrar a melhor sequência para estes dois trabalhos para as duas possíveis sequências. Não trocar a posição relativa entre estes dois trabalhos com respeito a cada outro passo do algorítmo.

4 - Selecionar o trabalho na posição i *da lista gerada no passo 2 e encontrar a melhor sequência colocando todas possíveis* i *posições na sequência parcial encontrada nos passos prévios, sem troca das posições relativas para cada outro dos trabalhos já atribuídos. O número de enumerações até este passo é igual a* i.

5 - Se $n = i$ *pare, senão faça* $i = i + 1$ *e vá para o passo 4.*

Figura 3.5 - Algorítmo de sequenciamento sucessivo unidirecional.

Segundo o algorítmo, para o primeiro passo, calcula-se os tempos totais de processamento.

T1 = 5 + 9 + 8 + 10 + 1 = 33
T2 = 9 + 3 + 10 + 1 + 8 = 31
T3 = 9 + 4 + 5 + 8 + 6 = 32
T4 = 4 + 8 + 8 + 7 + 2 = 29

A seguir, os tempos são colocados em ordem decrescente, que resulta então em, 1, 3, 2, 4. Feito isto, calcula-se o melhor sequenciamento parcial para as peças 1 e 3, (Tabelas 3.3 e 3.4).

		Máquinas (m)				
		1	2	3	4	5
peças	1	5/5	9/14	8/22	10/32	1/33
	3	9/14	4/18	5/27	8/40	6/46

Tabela 3.3 - Tempo de fluxo para sequência parcial 1.3

		Máquinas (m)				
		1	2	3	4	5
peças	3	9/9	4/13	5/18	8/26	6/32
	1	5/14	9/23	8/31	10/41	1/42

Tabela 3.4 - Tempo de fluxo para sequência parcial 3.1

Fica claro que a melhor sequência parcial é a das peças 3.1. Sequência esta que possui o tempo de fluxo = 42. Nos próximos passos a posição relativa das peças 1 e 3 deve ser então primeiro a peça 3 e depois a 1. A seguir é selecionada a 3ª peça da lista de ordem decrescente de tempos, que é a peça número 2. Calcula-se, então, a melhor sequência parcial colocando a peça 2 nas 3 posições possíveis. Estas sequências são demonstradas nas tabelas 3.5, 3.6 e 3.7 a seguir.

Máquinas (m)

		1	2	3	4	5
peças	3	9/9	4/13	5/18	8/26	6/32
	1	5/14	9/23	8/31	10/41	1/42
	2	9/23	3/26	10/41	1/42	8/50

Tabela 3.5 - Tempo de fluxo para sequência parcial 3.1.2

Máquinas (m)

		1	2	3	4	5
peças	3	9/9	4/13	5/18	8/26	6/32
	2	9/18	3/31	10/31	1/32	8/40
	1	5/23	9/32	8/40	10/50	1/51

Tabela 3.6 - Tempo de fluxo para sequência parcial 3.2.1

Máquinas (m)

		1	2	3	4	5
peças	2	9/9	3/12	10/22	1/23	8/31
	3	9/18	4/22	5/27	8/35	6/41
	1	5/23	9/32	8/40	10/50	1/51

Tabela 3.7 - Tempo de fluxo para sequência parcial 2.3.1

Pelas tabelas verifica-se que a melhor sequência parcial é a das peças 3.1.2 em que o tempo de fluxo é igual a 50. Para completar o cálculo, como o número de interações ainda não foi completado, pega-se a quarta peça que é a de número 4 e calcula-se a sequência ótima entre as quatro posições possíveis desta peça na sequência parcial 3.1.2. As tabelas com os tempos de fluxo são mostradas a seguir:

Máquinas (m)

		1	2	3	4	5
peças	3	9/9	4/13	5/18	8/26	6/32
	1	5/14	9/23	8/31	10/41	1/42
	2	9/23	3/26	10/41	1/42	8/50
	4	4/27	8/35	8/49	7/56	2/58

Tabela 3.8 - Tempo de fluxo para sequência parcial 3.1.2.4

Máquinas (m)

		1	2	3	4	5
peças	3	9/9	4/13	5/18	8/26	6/32
	1	5/14	9/23	8/31	10/41	1/42
	4	4/18	8/31	8/39	7/48	2/50
	2	9/27	3/34	10/49	1/50	8/58

Tabela 3.9 - Tempo de fluxo para sequência parcial 3.1.4.2

Máquinas (m)

		1	2	3	4	5
peças	3	9/9	4/13	5/18	8/26	6/32
	4	4/13	8/21	8/29	7/36	2/38
	1	5/18	9/30	8/38	10/48	1/49
	2	9/27	3/33	10/48	1/49	8/57

Tabela 3.10 - Tempo de fluxo para sequência parcial 3.4.1.2

Máquinas (m)

		1	2	3	4	5
peças	4	4/4	8/12	8/20	7/27	2/29
	3	9/13	4/17	3/25	8/35	6/41
	1	5/18	9/27	8/35	10/45	1/46
	2	9/27	3/30	10/45	1/46	8/54

Tabela 3.11 - Tempo de fluxo para sequência parcial 4.3.1.2

Pelos cálculos, nota-se que a melhor sequência para a produção das peças é a 4.3.1.2, que determina um tempo de fluxo de 54.

O tempo total de fluxo, pelos cálculos apresentados nas tabelas anteriores, representa o tempo decorrido do começo da primeira operação na primeira peça ou trabalho até o término da última peça. Para uma melhor compreensão da maneira de obtenção destas tabelas, será feito a seguir um melhor detalhamento.

O símbolo < > é utilizado para indicar a ordem da peça no sequenciamento; J<I> significa que a peça J é processada na I-ésima posição da sequência. Na figura 3.6 vê-se dois modelos básicos de processamento das peças <r-1> e <r> nas máquinas k-1 e k.

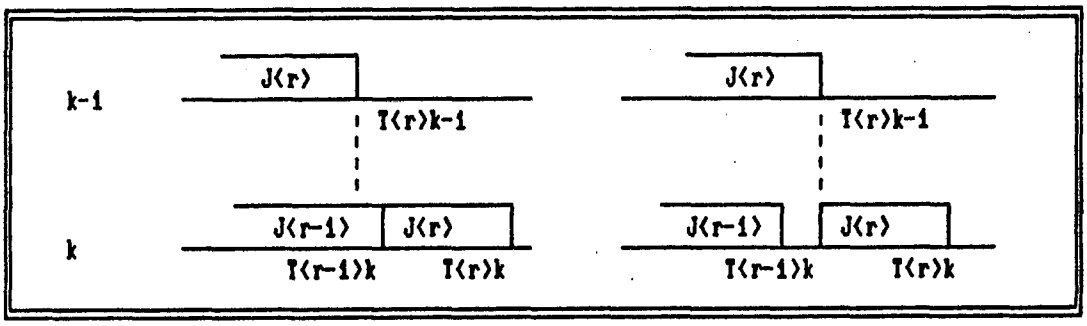

Figura 3.6 - Modelos básicos de processamento

O instante de tempo T<r>k é o tempo (em relação a origem) em que se termina o processamento da peça J<r> na máquina k, ou pode ser escrito como:

$$T<r>k = \max (T<r-1>k;\ T<r>k-1) + TPJ<r>k$$

onde TPJ<r>k é o tempo de processamento da peça J na sequência r

na máquina k. Reescrevendo a tabela 3.11, que originou a melhor sequência, para melhor exemplificar o procedimento tabular para cálculo do tempo total de fluxo, ela fica assim:

		Maquinas				
		1	2	3	4	5
n. peca	J(i)	TPJ(i)1 / T(i)1	TPJ(i)2 / T(i)2	TPJ(i)3 / T(i)3	TPJ(i)4 / T(i)4	TPJ(i)5 / T(i)5
4	1º	4 / 4	8 / 12	8 / 20	7 / 27	2 / 29
3	2º	9 / 13	4 / 17	5 / 25	8 / 35	6 / 41
1	3º	5 / 18	9 / 27	8 / 35	10 / 45	1 / 46
2	4º	9 / 27	3 / 30	10 / 45	1 / 46	8 / 54

Tabela 3.12 - Procedimento tabular para determinação do tempo total de fluxo.

Como exemplo, seja a peça nº 1 na máquina nº 5, o tempo de término desta operação será:

$$T(3)5 = \max(T(2)5;\ T(3)4) + TPJ(3)5$$

$$= \max(41;\ 45) + 1 = 46$$

Terminados os cálculos para obtenção do melhor sequenciamento, para se ter uma melhor visualização do decorrer das operações é conveniente a representação dos dados levantados em um gráfico de Gantt. A figura 3.7 mostra este gráfico para o sequenciamento calculado anteriormente (tabela 3.12).

Este método, para ser utilizado de maneira eficiente, sofreu alterações, como por exemplo, a utilização de

tempos de setup, ou seja, de preparação de máquinas. Os dados relativos a estes setups são armazenados em matrizes, uma para cada máquina da célula, já que o tempo de setup para cada tipo de peça depende do tipo que a precede na sequência. Um exemplo da forma destas matrizes é visto na figura 3.8.

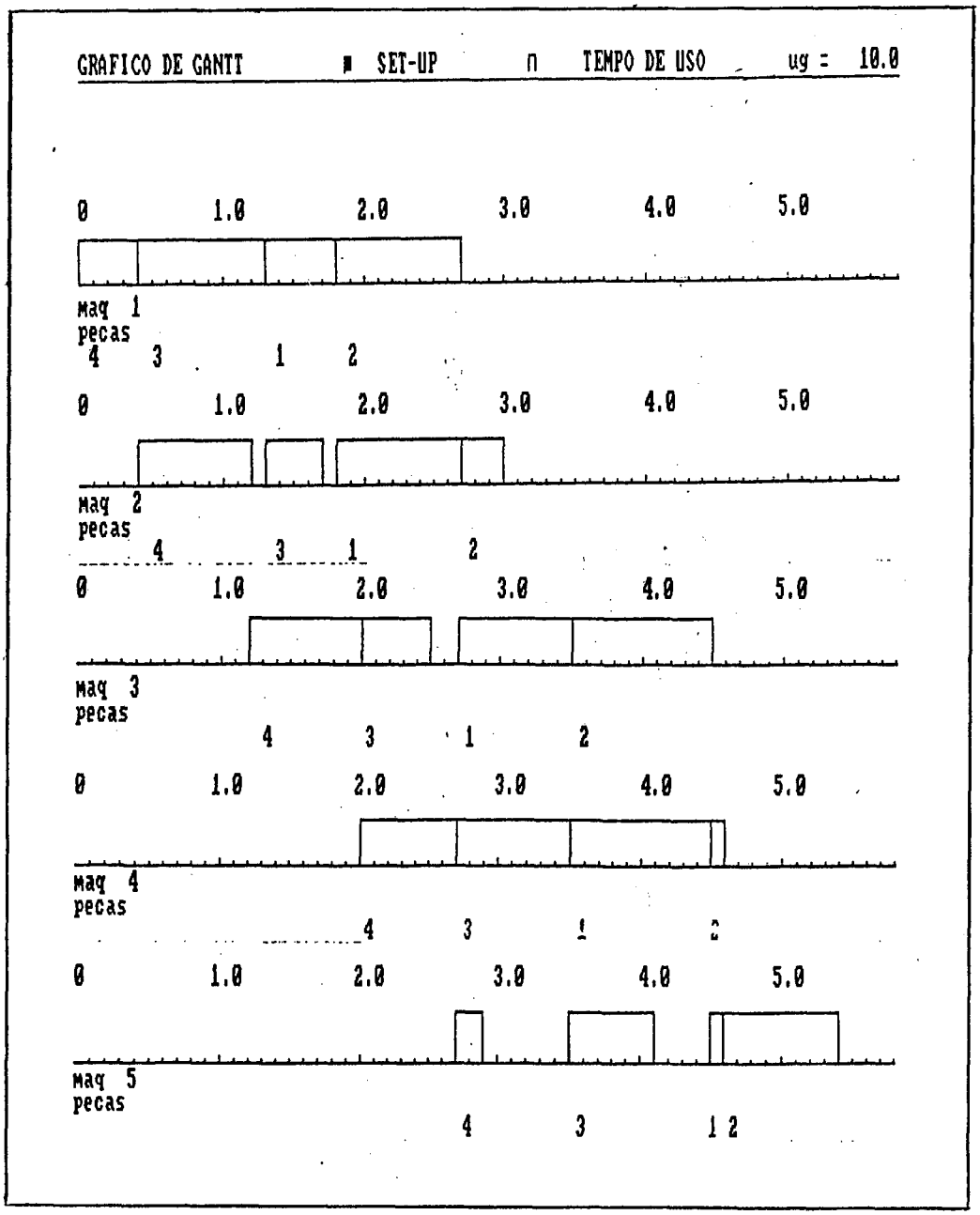

Figura 3.7 - Gráfico de Gantt.

para → pecas

de ↓ pecas	P1	P2	P3	P4
P1	Ø	ST1,1,2	ST1,1,3	ST1,1,4
P2	ST1,2,3	Ø	ST1,2,3	ST1,2,4
P3	ST1,3,1	ST1,3,2	Ø	ST1,3,4
P4	ST1,4,1	ST1,4,2	ST1,4,3	Ø

Figura 3.8 - Matriz setup para máquina 1.

Na matriz de setup para máquina 1, apresentada na figura 3.8, st 1.3.1, por exemplo, significa o tempo de setup para iniciar operação da peça 1 na máquina 1, sendo que esta máquina estava processando a peça 3.

O critério, para utilização destes tempos de setup, foi somá-los aos tempos de operação de cada peça na respectiva máquina, observando a peça que estava sendo processada antes. Um exemplo de sequenciamento utilizando também a informação de tempos de setup é visto na figura 3.9.

3.2.1.1 - Aplicabilidade do algorítmo

O algorítmo sucessivo unidirecional, formulado anteriormente, foi analisado frente a outros. Os resultados são relatados em [36]. Sendo este simples de entender e aplicar. E sua estrutura é adequada para implementação computacional.

Segundo [36] para número de peças entre 3 e 30 e máquina entre 4 e 25, este algorítmo é superior a todos outros testados. Embora não tenha sido avaliado para número de peças e

máquinas grandes (m,n $\geqslant$ 100), ele deverá continuar trabalhando bem.

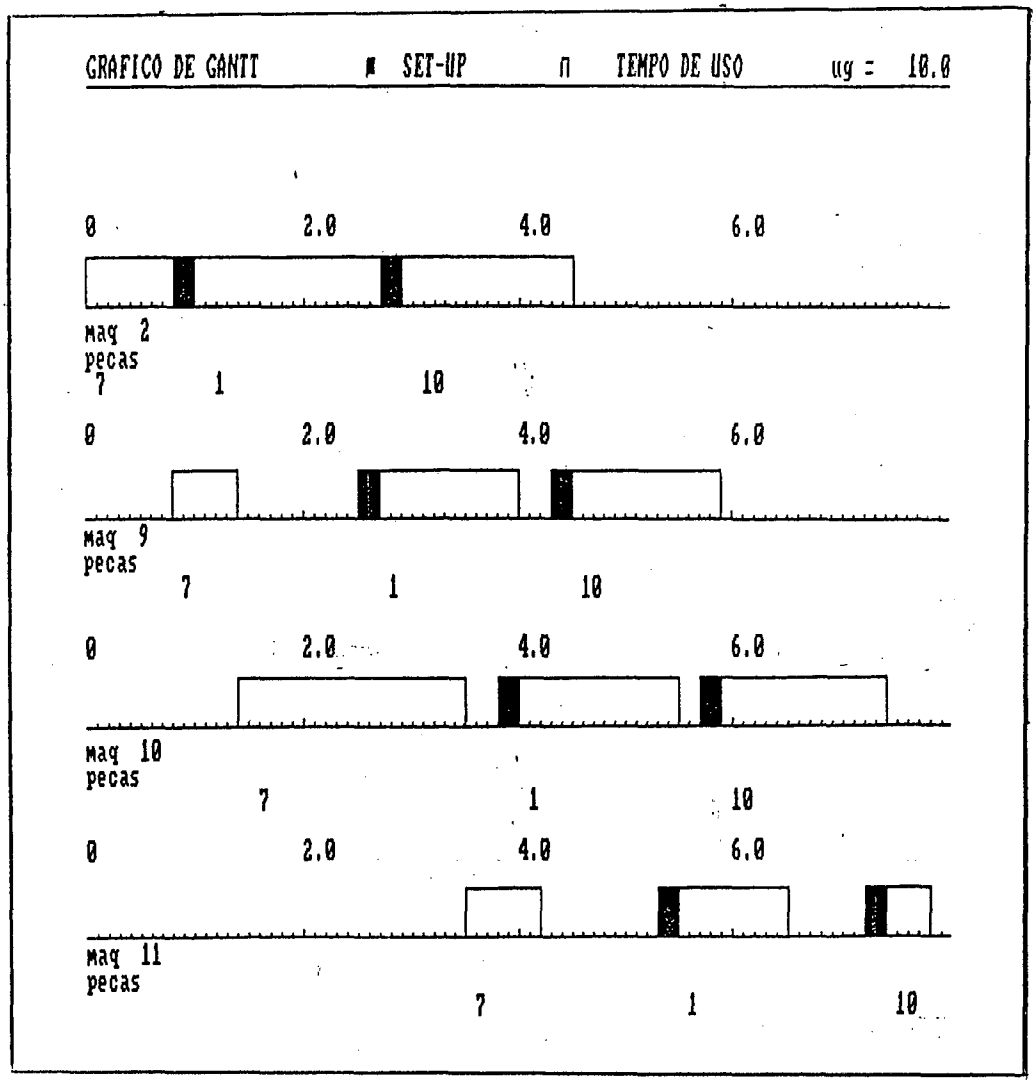

Figura 3.9 - Gráfico de Gantt com setup.

3.2.2 - Sequenciamento paralelo unidirecional

Quando uma família de peças é processada através de um determinado grupo de máquinas, onde as peças podem ser transferidas de uma estação de trabalho para outra à medida que

cada peça seja completada, pode se utilizar o método de sequenciamento paralelo unidirecional, com o qual o tempo total de produção pode ser reduzido, em relação ao sequenciamento sucessivo unidirecional [15].

Para se entender melhor este método a figura 3.10 e 3.11 representam os resultados para o sequenciamento sucessivo unidirecional e sequenciamento paralelo unidirecional, respectivamente, para os dados de entrada da Tabela 3.13.

	maquinas (minutos)				numero de
pecas	M1	M2	M3	M4	pecas
1	1.7	1.3	1.5	1.0	10
2	0.8	0.6	2.1	0.7	10
3	1.6	1.4	1.5	0.4	10

Tabela 3.13 - Tempos de processamento e número de peças.

Nota-se que o sequenciamento paralelo proporciona uma redução considerável em relação ao sequenciamento sucessivo unidirecional, e com o agrupamento de máquinas em células é mais exequível este tipo de programação,face a maior facilidade de controle.

O sequenciamento paralelo unidirecional implementado é uma reorganização dos trabalhos obtidos a partir do cálculo do melhor sequenciamento sucessivo unidirecional. É aproveitado, então, a melhor sequência de processamento das peças.

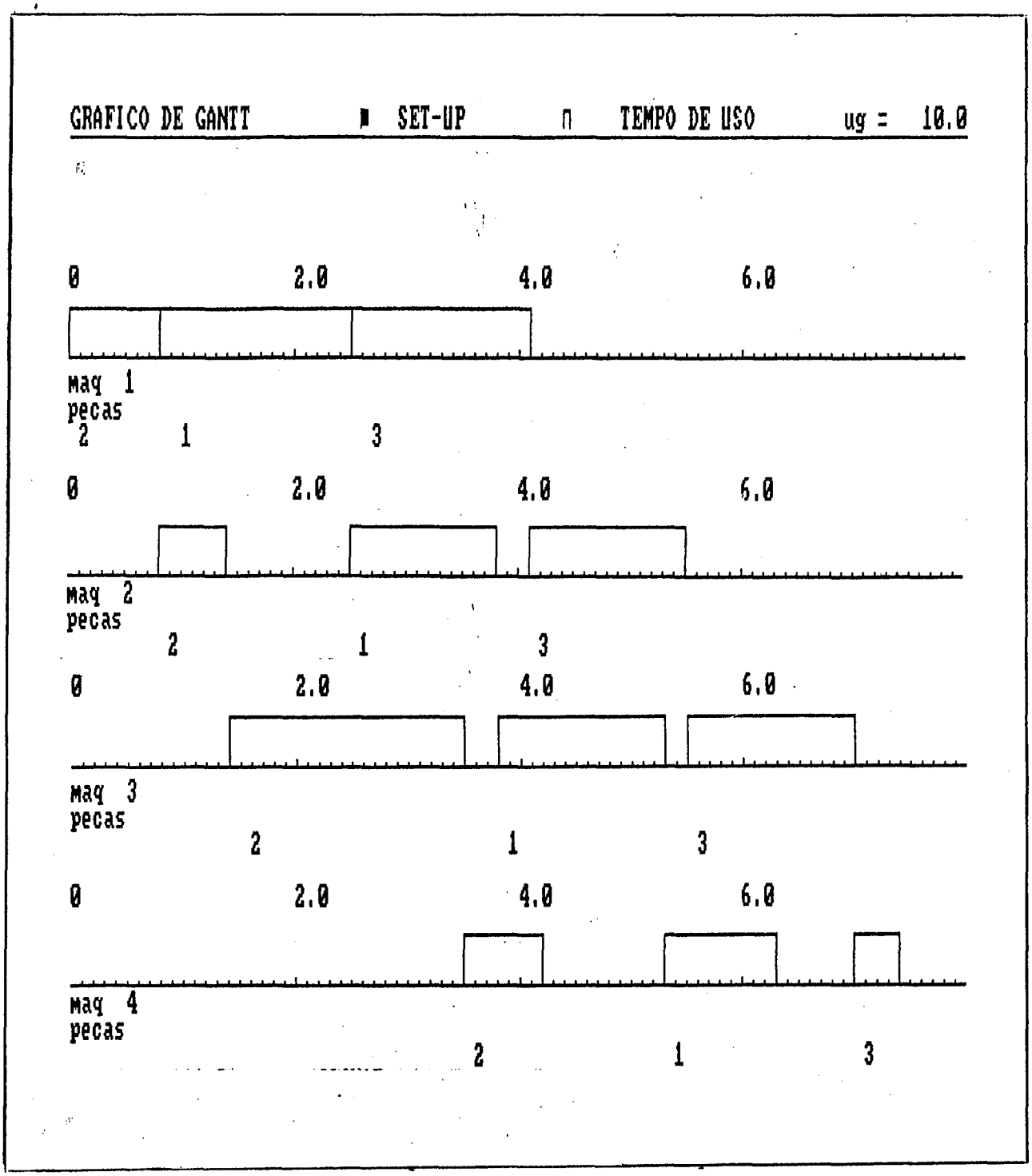

Figura 3.10 - Gráfico de Gantt para sequenciamento sucessivo unidirecional .

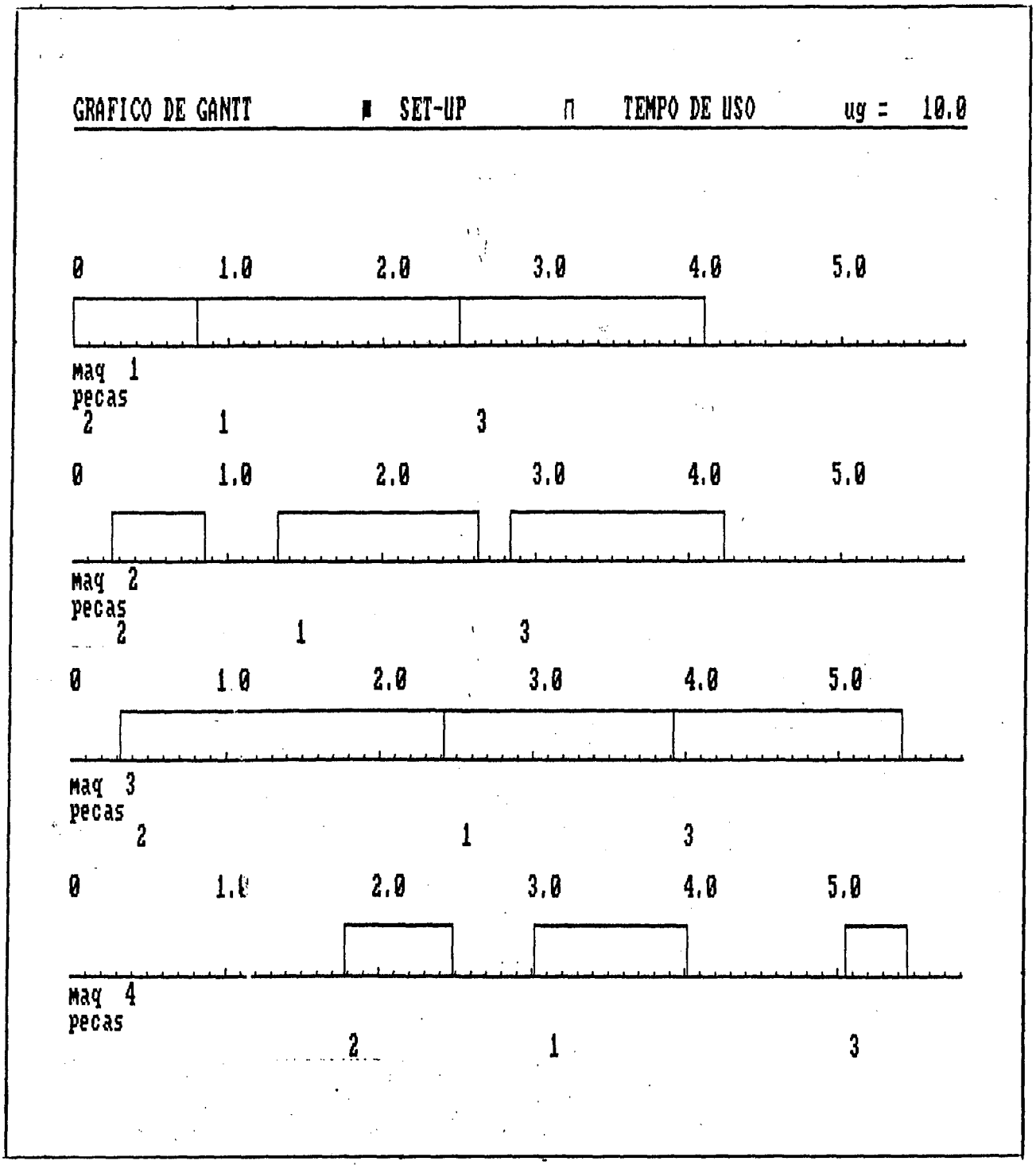

Figura 3.11 - Gráfico de Gantt para sequenciamento paralelo unidirecional.

Neste tipo de sequenciamento, dois casos podem ocorrer:

- a operação na máquina posterior ser mais lenta que a anterior,
- a operação na máquina posterior ser mais rápida que a anterior.

No primeiro caso não há problemas, a máquina posterior trabalhará ininterruptamente. Sempre que terminar uma peça, outra já estará pronta para ser processada.

No segundo caso, a máquina posterior trabalhará de maneira intermitente. Tendo assim, tempos em que ficará parada entre processamentos de peça iguais, esperando que seja terminada a operação na anterior.

Assim, o gráfico de Gantt para este método indicará o início e o fim de processamento de peças do mesmo tipo.

3.2.3 - Considerações sobre os métodos de sequenciamento

Com a obtenção do sequenciamento sucessivo e paralelo unidirecional, embora ambos métodos possam ser empregados em uma célula, fica claro como esta disposição viabiliza a utilização do segundo, permitindo assim um melhor uso do equipamento.

Com as máquinas agrupadas em células, a possibilidade de adoção do método paralelo é mais fácil, porque o controle sobre o lote de fabricação é simplificado em relação a de uma fabricação em layout do tipo funcional.

Embora os métodos tenham sido desenvolvidos objetivando o projeto de células, mesmo assim é possível o uso do

sequenciamento sucessivo unidirecional para otimizar o fluxo de uma indústria que utilize layout funcional, onde normalmente as peças chegam em lotes para serem processadas.

Para o cálculo do sequenciamento sucessivo unidirecional, não foram previstos tempos de passagem de lotes de uma máquina para outra. Isto se deve ao objetivo de projetar células, onde uma máquina esta próxima a outra e este tempo pode ser desprezado em relação ao tempo de operação.

Com os tempos obtidos pelo sequenciamento sucessivo, somando os tempos de passagem dos lotes de uma máquina para outra, torna-se possível obter um melhor desempenho para o layout funcional.

Com os resultados de sequenciamento paralelo é possível fazer uma idéia de como uma disposição em célula irá melhorar os tempos de fabricação.

3.3 - ANÁLISE DE OCUPAÇÃO DE EQUIPAMENTO

Para facilitar a análise da viabilidade de uma célula foram previstos alguns cálculos sobre o sequenciamento sucessivo e paralelo unidirecional. Os sequenciamentos são obtidos como se o tempo de fabricação fosse contínuo. Por esta razão é necessário fornecer como entrada o número de horas trabalhadas por dia e o número de dias úteis por mês. Através de cálculos simples traduz-se os tempos da escala do sequenciamento nas seguintes informações:

- tempo de fabricação de todo lote;

- tempo de passagem ("Lead time") de cada primeira peça;
- taxa percentual de ocupação de cada máquina.

Com o número de horas úteis por dia e dias por mês, calcula-se o tempo em que o equipamento esta disponível. Em seguida, recupera-se o último tempo obtido na distribuição da programação no gráfico de Gantt. De posse destas informações calcula-se o tempo que levará para processar todo o lote.

Para o cálculo do tempo de passagem ("Lead time") de cada primeira peça, a maneira é semelhante a descrita acima, só que os dados recuperados do gráfico de Gantt são os tempos finais de cada primeira peça diferente.

A taxa percentual de ocupação de cada equipamento é calculada através da relação entre o tempo que este fica ocupado pelo tempo disponível para o processamento de todo o lote.

De posse destas informações torna-se mais fácil uma análise da viabilidade da célula que se pretende montar. A análise destes resultados pode determinar a retirada ou inclusão de alguma peça na família e nova simulação do funcionamento da célula, para verificar se o comportamento melhora ou não. De maneira interativa, obtém-se resultados que permitirão à gerência decidir se o investimento necessário para adoção de células de fabricação é conveniente. Este investimento engloba, por exemplo, custos de movimentação de equipamentos, ou compra de máquinas que tenham que atender duas ou mais células.

CAPÍTULO 4

4 - MODELO COMPUTACIONAL

Desenvolvida a metodologia para planejamento de células de fabricação, voltada para uma implementação informatizada, cabe agora desenvolver um sistema protótipo para executá-la.

Um sistema para projeto de células de fabricação auxiliado por computador, do tipo que se pretende construir, deve ter a característica de ser o mais fácil possível de se trabalhar. E com esta preposição foi desenvolvido todo sistema.

A seguir será analisado e documentado todo o sistema desenvolvido.

4.1 - DEFINIÇÃO DOS RECURSOS

O sistema protótipo foi desenvolvido para microcomputadores compatíveis com a linha PC-XT ou AT, salientando que a utilização de um AT é mais adequada, face a maior velocidade de processamento. Esta recomendação faz-se conveniente para análise de grandes matrizes de entrada, visando a formação de famílias. Ainda, a nível de "hardware", necessita-se da utilização de dois acionadores de discos flexíveis de 5" 1/4. Como periféricos, há a necessidade de uma impressora.

A nível de "software", como sistema operacional utilizou-se o MSDOS e o programa principal foi desenvolvido em BASIC comercial, que apresentava a vantagem de ser estruturado e operar de forma compilada. Foi utilizado ainda uma base de dados comercial para cadastramento das peças e máquinas envolvidas na análise.

4.2 - ESTRUTURA DOS ARQUIVOS

O principal objetivo da organização de arquivos é fornecer caminhos claros de acesso aos registros durante as operações de recuperação ou de atualização.

A escolha do tipo de organização de arquivos baseia-se nos seguintes pontos:

- tipos de consultas;
- modos de atualização e recuperação;
- frequência de uso;
- crescimento de arquivo;
- linguagem de programação e sistemas de organização disponíveis.

Para o sistema protótipo desenvolvido, a comunicação entre as várias etapas se dá por meio de acesso a diferentes arquivos.

Nestes acessos os arquivos são recuperados em todo seu conteúdo, justificando a utilização de arquivos do tipo sequencial.

Já o banco de dados, obtido com o cadastramento de

peças e máquinas, desenvolvida em uma base de dados segue a estrutura que origina o "software", sendo, então, um depósito central de informações relacionadas, de onde pode-se acessar imediatamente o tipo de informação que se quer. Neste banco de dados relacional os dados são organizados na forma de matrizes, sendo as linhas os registros do banco e as colunas seus campos. O uso deste tipo de banco de dados pode apresentar relações entre duas ou mais bases. Pode-se, por exemplo, acessar um arquivo de inventário e, usando o número da peça como chave para cada registro do inventário, listar todas as transações relativas a esta peça.

4.3 - ESTRUTURA DO SISTEMA.

Para se entender o modelo lógico do sistema, independente do "hardware", do "software", dos arquivos e estruturas de dados, apresenta-se na figura 4.1 o diagrama geral de fluxo de dados. Esta figura visa exclusivamente uma visão geral de todo o sistema.

Nota-se na figura 4.1, que além da formação heurística de famílias, esta previsto uma etapa em que se pode alterar uma família previamente formada. Com o detalhe do algorítmo para formação de famílias, obedecer critérios puramente matemáticos, é possível que as famílias formadas sejam melhoradas. Isto pode acontecer com a mudança de uma peça de uma família para outra, ou a união de duas famílias ou mais. A necessidade desta mudança pode ser constatada, logo após a

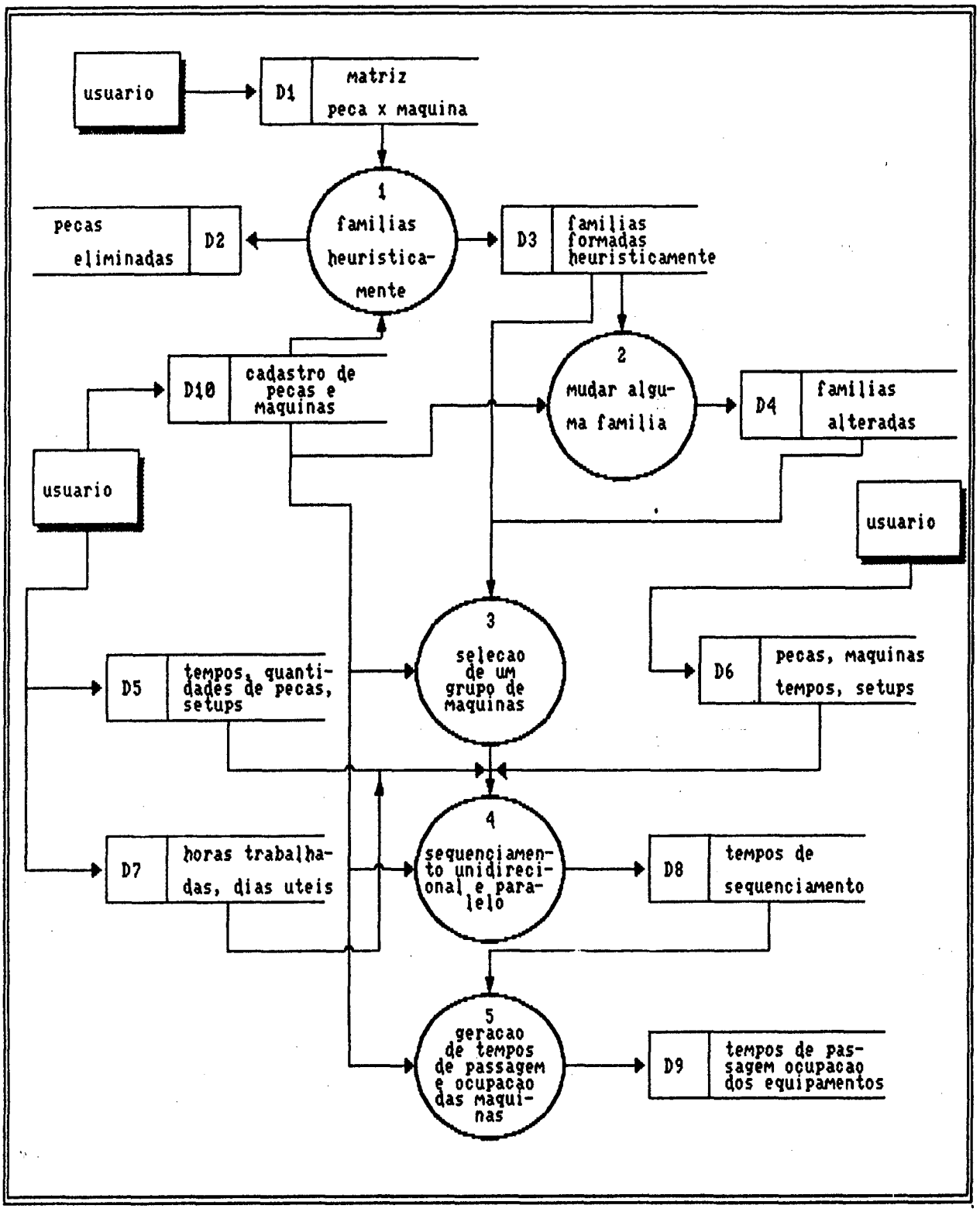

Figura 4.1 - Fluxo de dados do sistema.

formação de famílias, ou após uma análise do comportamento da célula. Desta maneira, é possível modificar as famílias, para que nas etapas seguintes, seja constatado se tal modificação é relevante ou não.

Depois que se obtém as famílias formadas heuristicamente ou alteradas, seleciona-se uma das famílias com o respectivo grupo de máquinas, que representará então uma célula em potencial. Com dados fornecidos pelo usuário, tais como:

- tempos de operação de cada peça nas diversas máquinas;
- total de peças que se deseja fabricar;
- tempos de "setups".

é possível, então, calcular o melhor sequenciamento sucessivo e paralelo unidirecional. Fornecendo ainda o número de horas trabalhadas por dia e número de dias úteis por mês, se obtém o seguinte:

- tempo de passagem ("lead time") de cada primeira peça;
- tempo de fabricação de todo o lote;
- ocupação de cada equipamento.

Com estas informações tem-se, então, um conjunto de dados que permite analisar a viabilidade da célula em questão.

Pode-se notar também, ainda na figura 4.1, que está previsto a análise de grupo de máquinas, porém sem ter famílias previamente formadas. A implementação de todas estas etapas, dará uma natureza interativa ao sistema, permitindo assim uma "afinação" no comportamento da futura célula. A seguir será melhor detalhada cada etapa.

Para finalizar, de qualquer parte no decorrer da utilização do sistema, pode-se consultar informações sobre as

peças ou máquinas, que se está analisando, mediante pesquisa a um banco de dados. Esta característica é importante, porque o sistema trabalha com as peças e máquinas numeradas sequencialmente (1, 2, 3, ...), e estes números não tem significado para um usuário, o banco de dados relacionará, então, estes números do sistema com a especificação industrial existente.

4.3.1 - A obtenção da matriz peça x máquina.

Como já analisado, o projeto de células de fabricação deve partir inicialmente da obtenção das famílias de peças. Para que seja analisado o grupo de peças desejado necessita-se inicialmente de uma preparação de dados para o sistema. Basicamente, este passo consiste em gerar um arquivo, que contenha as informações sobre o número da peça e as máquinas necessárias para seu processamento. Estas informações guardadas em arquivo é a matriz binária, citada no item 3.1.1. No arquivo de entrada, de formato sequencial, também armazena-se o número de máquinas e de peças, para utilização nas demais etapas. A figura 4.2 ilustra um exemplo esquemático do conteúdo de um arquivo como este.

A primeira coluna representa o número da peça e as demais, quais máquinas a processam.

Este arquivo contendo a matriz binária pode ser obtido também através do banco de dados. Cadastrando-se peças e máquinas, a partir das informações deste banco, que deve ser

gerado antecipadamente, o sistema gera automaticamente a matriz binária correspondente.

Um fluxograma de sistema e outro de lógica, desta etapa, são mostrados nas figuras 4.3 e 4.4, respectivamente.

n. pecas =4	
n. maquinas = 5	
1	1 1 0 0 0
2	1 1 1 1 1
3	0 0 0 1 1
4	0 0 0 0 1

Figura 4.2 - Conteúdo de arquivo de entrada

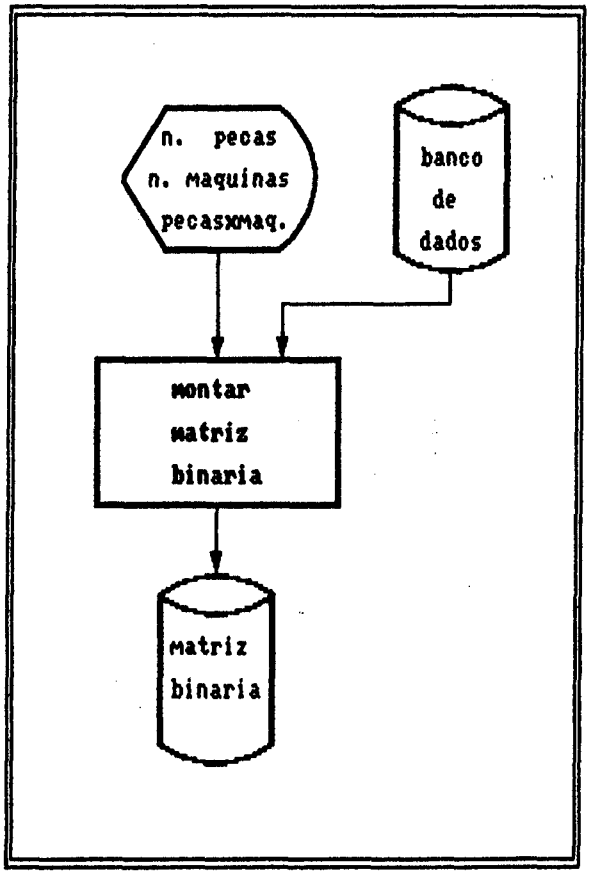

Figura 4.3 - Fluxograma de sistemas para obtenção da matriz peça x máquina.

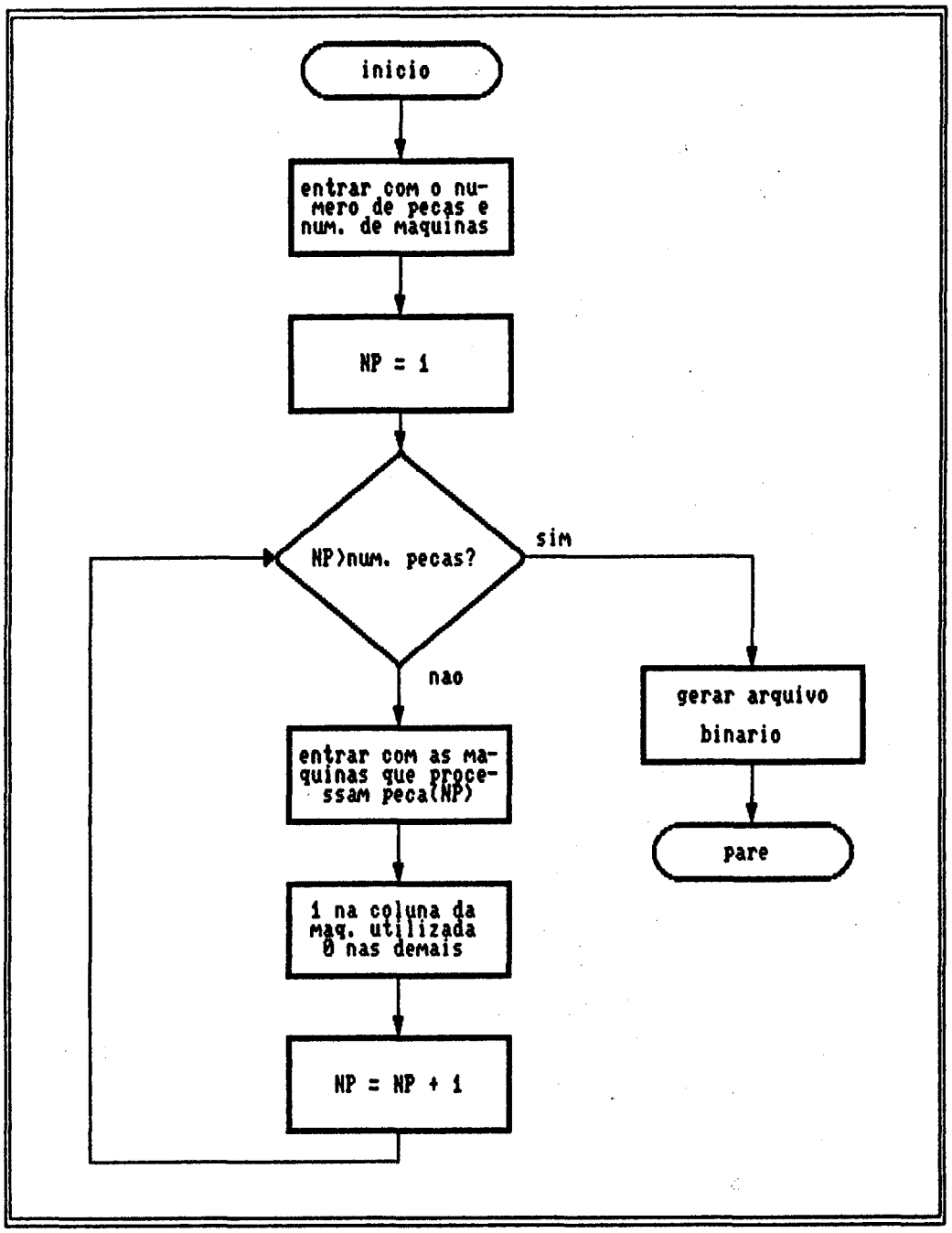

Figura 4.4 - Fluxograma de lógica para obtenção da matriz peça x máquina.

4.3.2 - A formação heurística de famílias.

Para se obter as famílias utiliza-se o algorítmo

explicado no item 3.1. O fluxograma do sistema e de lógica deste programa são mostrados nas figuras 4.5 e 4.6 respectivamente.

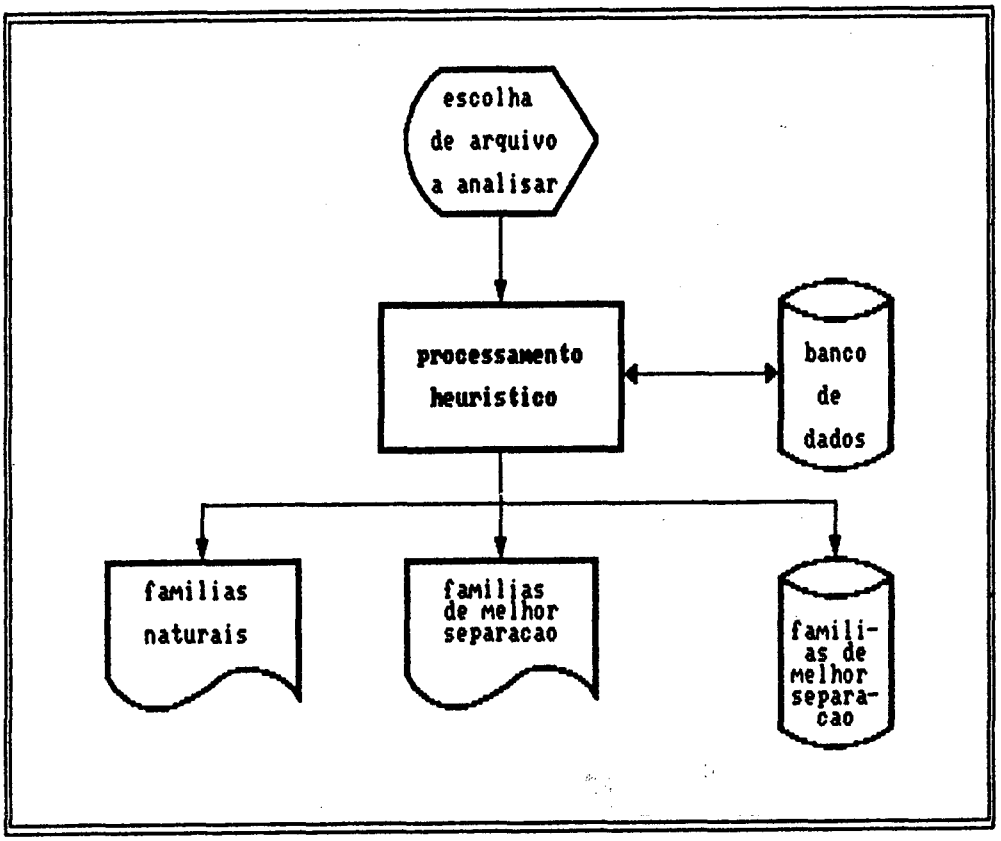

Figura 4.5 - Fluxograma de sistemas para obtenção das famílias heuristicamente

A execução desta fase inicia-se com a escolha de um arquivo, previamente formado pela etapa anterior, a partir do qual se deseja verificar a possível estrutura de famílias existentes. Escolhido o arquivo de entrada, o sistema processa estas informações, gerando como resultado famílias de peças. No caso de existência de peças eliminadas, elas são também arquivadas. Ambos os arquivos gerados nesta etapa são de formato sequencial. O arquivo de famílias possui informações de quantas peças e máquinas foram analisadas, cita que as famílias foram

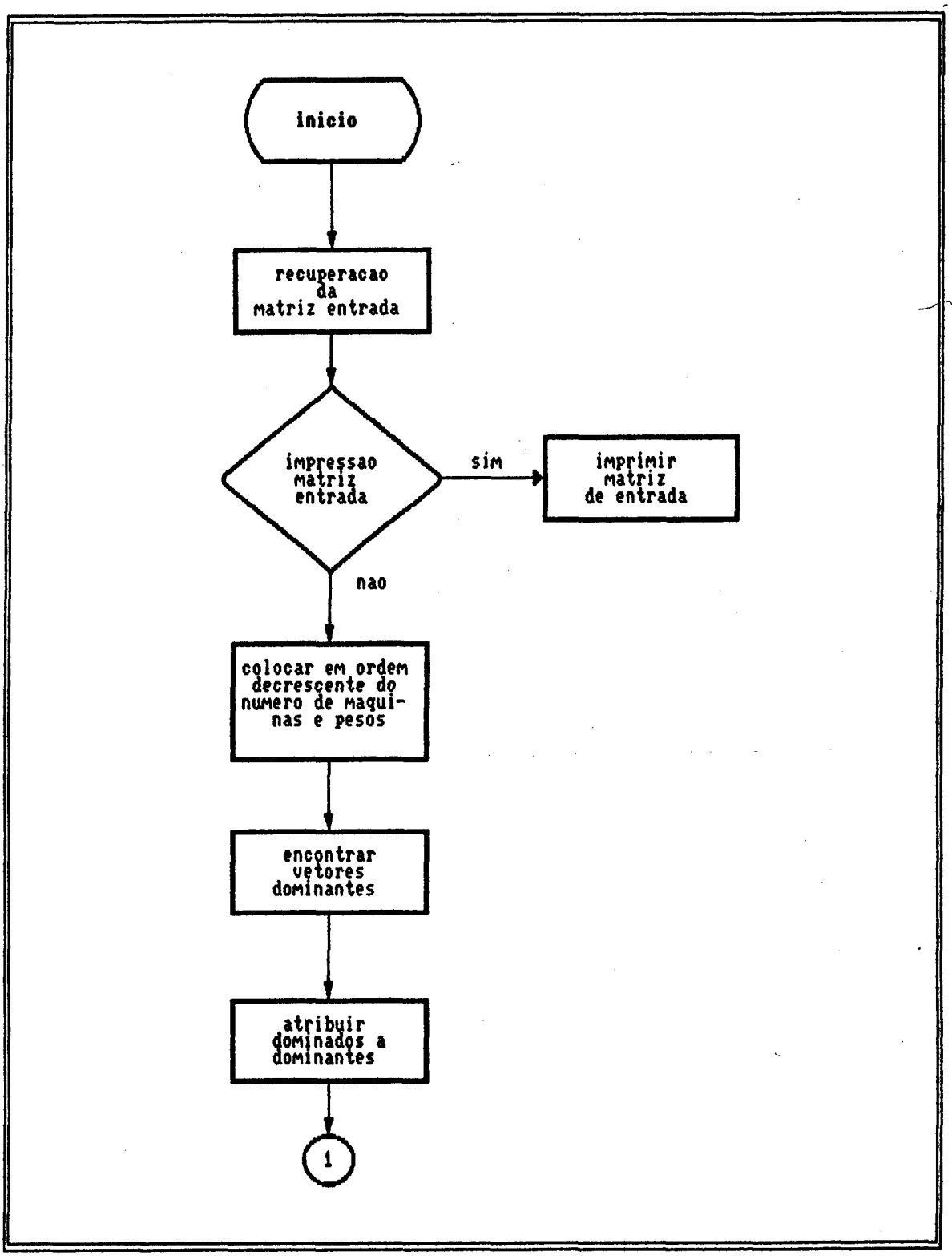

Figura 4.6 (a) - Fluxograma de lógica para obtenção das famílias heuristicamente

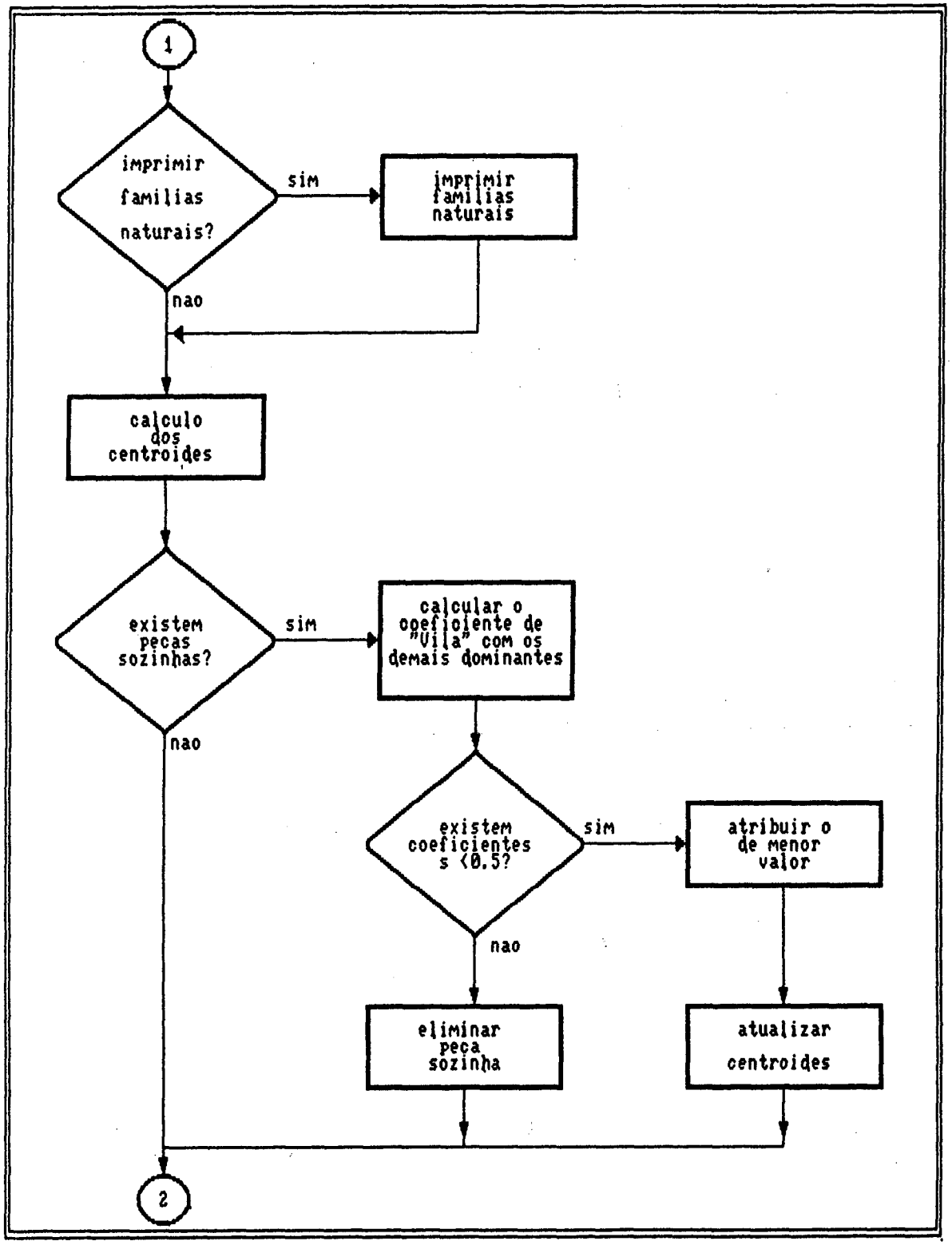

Figura 4.8 (b) - Fluxograma de lógica para obtenção das famílias heuristicamente

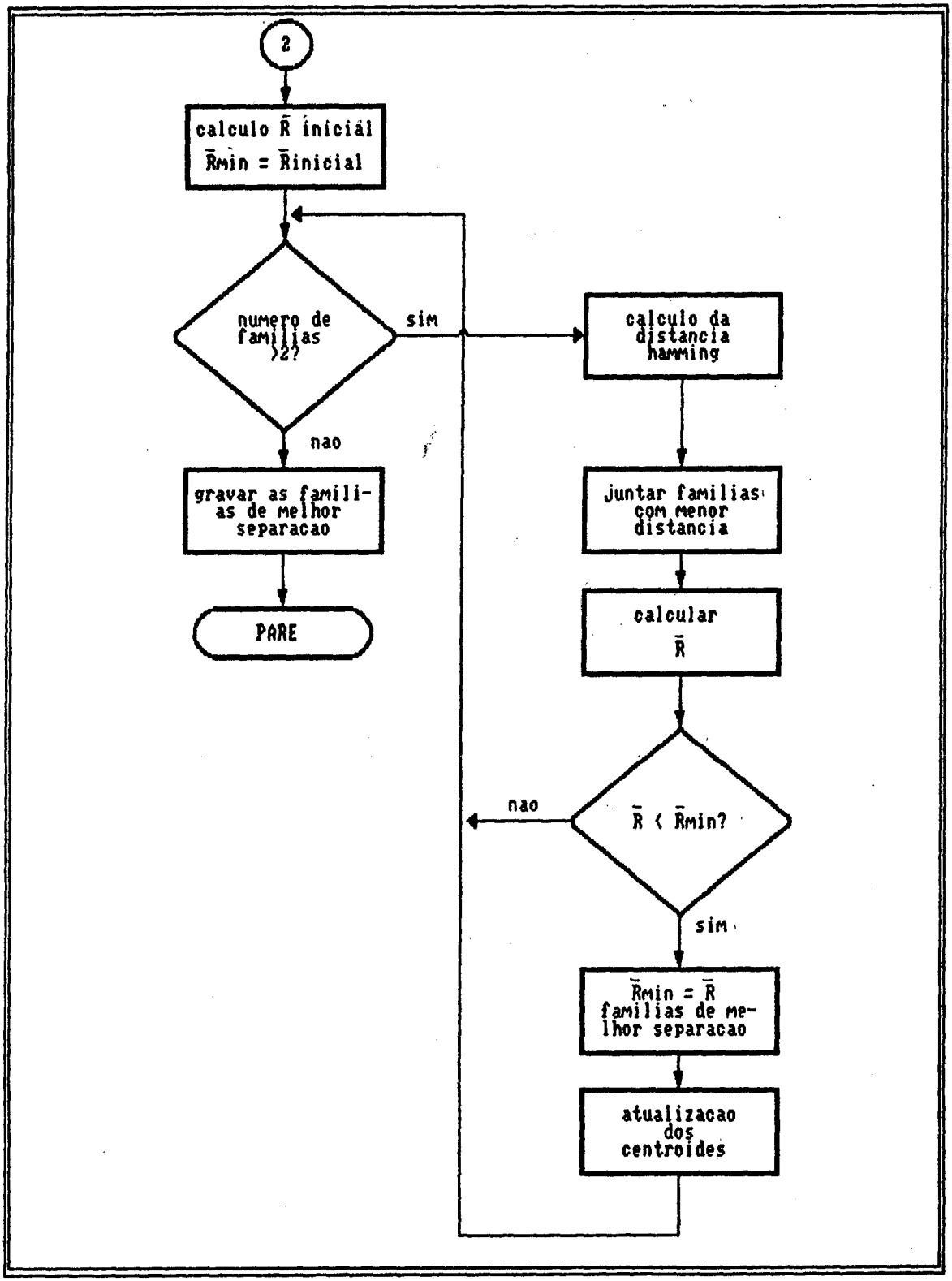

Figura 4.8 (c) - Fluxograma de lógica para obtenção das famílias heuristicamente

formadas heuristicamente e a que família pertence cada peça. Um exemplo esquemático de um arquivo como este é mostrado na figura 4.7. Nota-se que a última coluna representa a qual família pertence a peça.

n. pecas =4		
n. maquinas = 5		
FAMILIAS FORMADAS HEURISTICAMENTE		
1	1 1 1 0 0 0	1
2	0 0 0 1 1 1	2
3	1 0 1 0 0 0	1
4	0 0 0 0 1 1	2
5	0 0 0 1 1 0	2

Figura 4.7 - Conteúdo do arquivo de famílias de peças.

4.3.3 - Alteração de alguma família já formada.

Os fluxogramas de sistema e de lógica são apresentados nas figuras 4.8 e 4.9 respectivamente.

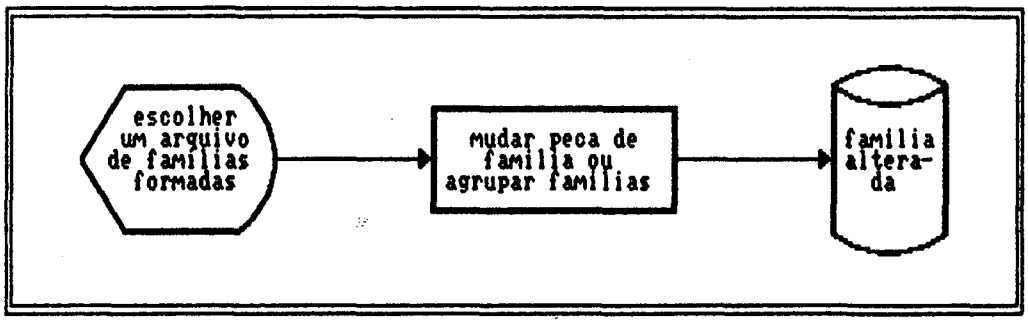

Figura 4.8 - Fluxograma de sistemas para alteração de alguma família.

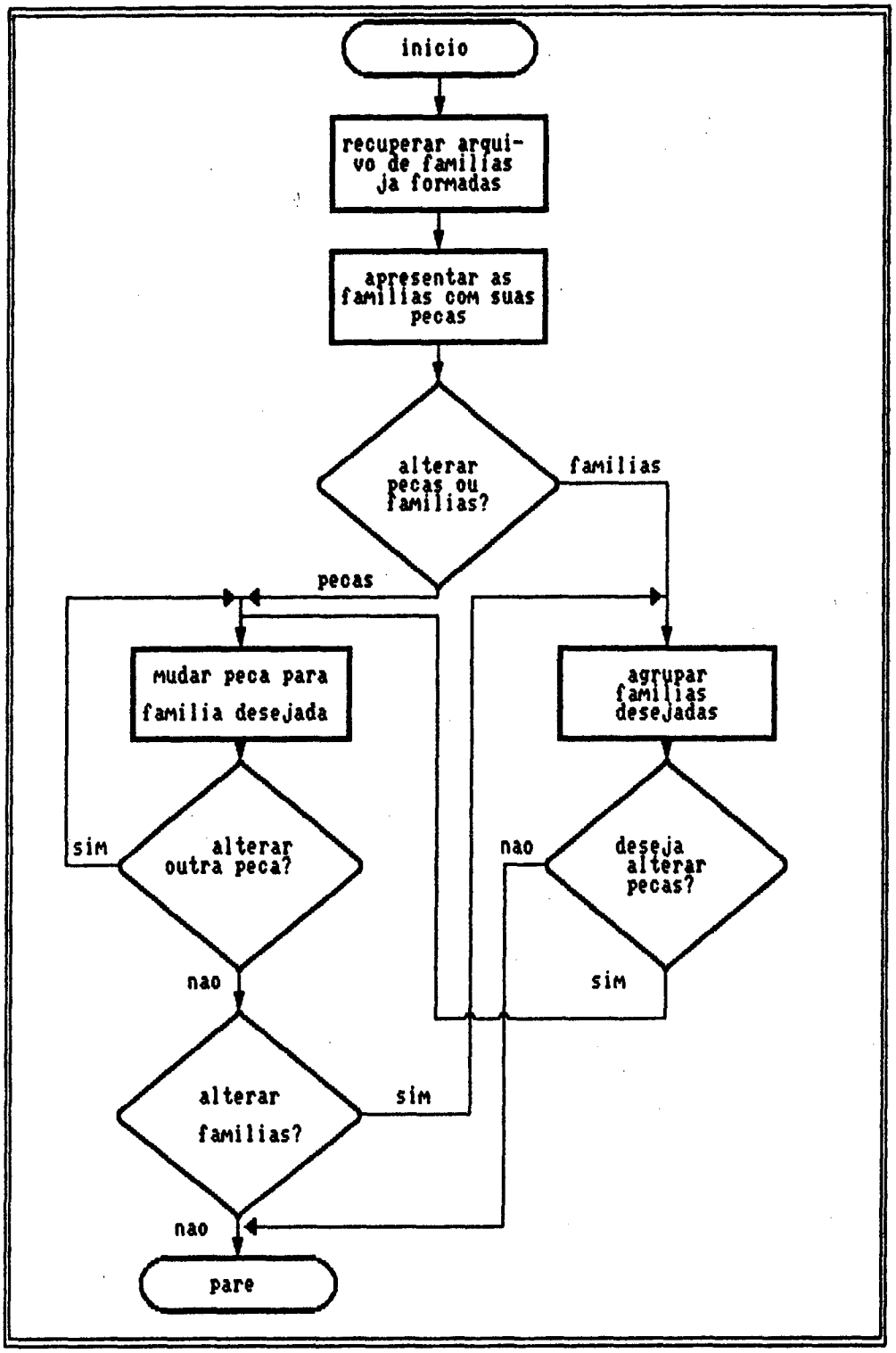

Figura 4.9 - Fluxograma de lógica para alteração de alguma família.

As famílias modificadas são também armazenadas em arquivo sequencial semelhante ao da figura 4.7, com a inclusão da informação de que é arquivo resultado de modificações. Como se verifica na figura 4.9, a alteração é feita recuperando-se um arquivo previamente gerado, contendo famílias formadas heuristicamente.

4.3.4 - Seleção de um grupo de máquinas

Nesta etapa, implementada segundo o fluxograma de sistema da figura 4.10, o usuário recupera um arquivo de famílias.

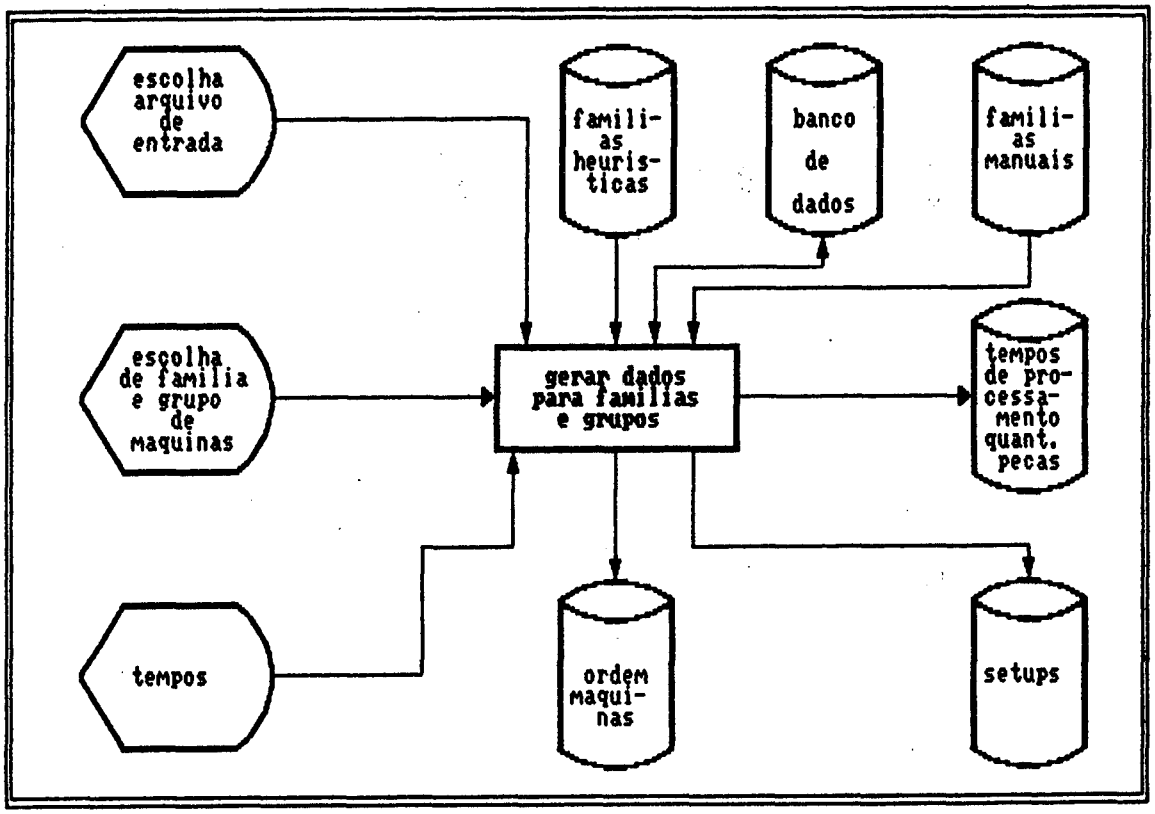

Figura 4.10 - Fluxograma de sistemas para seleção de um grupo de máquinas.

Este arquivo pode conter as famílias formadas heuristicamente ou as com alguma modificação realizada. Recuperados estas famílias, o usuário do sistema escolhe a família de peças, que se deseja analisar, com o respectivo grupo de máquinas. Fornecendo os dados adequados para o grupo de máquinas selecionadas, o sistema armazena em 3 arquivos distintos os seguintes ítens:

- tempos de processamento das peças nas respectivas máquinas;
- sequência de máquinas;
- matriz de "setups".

O arquivo de tempos de processamento das peças, oferece as informações esquematicamente representadas pela figura 4.11.

PECAS	MAQ.1	MAQ.2	MAQ.3	QUANT.
1	3.0	4.0	5.0	10
10	5.1	3.6	1.0	5
5	8.0	1.0	3.0	3

Figura 4.11 - Conteúdo de arquivo para análise de um grupo de máquinas.

Salienta-se que este arquivo tem mais duas informações relevantes, que são as quantidades de cada peça que se deseja fabricar e a ordem em que as peças estão guardadas em arquivo.

4.3.5 - Formação de um grupo de máquinas

Com a mesma finalidade do ítem anterior, porém sem

ter famílias previamente formadas, foi implementado um programa que possa gerar um grupo de máquinas com um respectivo lote de peças a critério do usuário. Esta etapa foi implementada pela razão de se poder utilizar a etapa de sequenciamento e análise de carregamento do equipamento, para um grupo qualquer de máquinas. Os dados necessários para esta etapa, além dos citados para a etapa anterior, são:

- número de máquinas;
- número de peças.

Os arquivos gerados são idênticos ao da etapa anterior.

4.3.6 - Sequenciamento e análise de ocupação de máquinas (simulação)

Baseado no fluxograma de lógica da figura 4.13, esta etapa responsabiliza-se pelo suporte às decisões de formar ou não uma célula de fabricação. O fluxograma mostrado na figura 4.12 sintetiza o algorítmo explicado anteriormente.

A alimentação desta etapa se dá através da escolha de um arquivo que inclui tempos de operação, número de máquinas e tempos de "setup", formado anteriormente. O usuário deve informar o número de horas que se trabalha por dia e o número de dias úteis por mês.

O resultado desta etapa é sintetizado na forma de dois gráficos. O primeiro gráfico é o de Gantt, que demonstra o desenrolar da programação para sequenciamento calculado. O

segundo indica a ocupação de cada equipamento para um sequenciamento calculado. A saída em gráfico se faz relevante pois substitui, com vantagens, relatórios numéricos ou tabelas de difícil interpretação. Estes gráficos serão ilustrados no próximo capítulo.

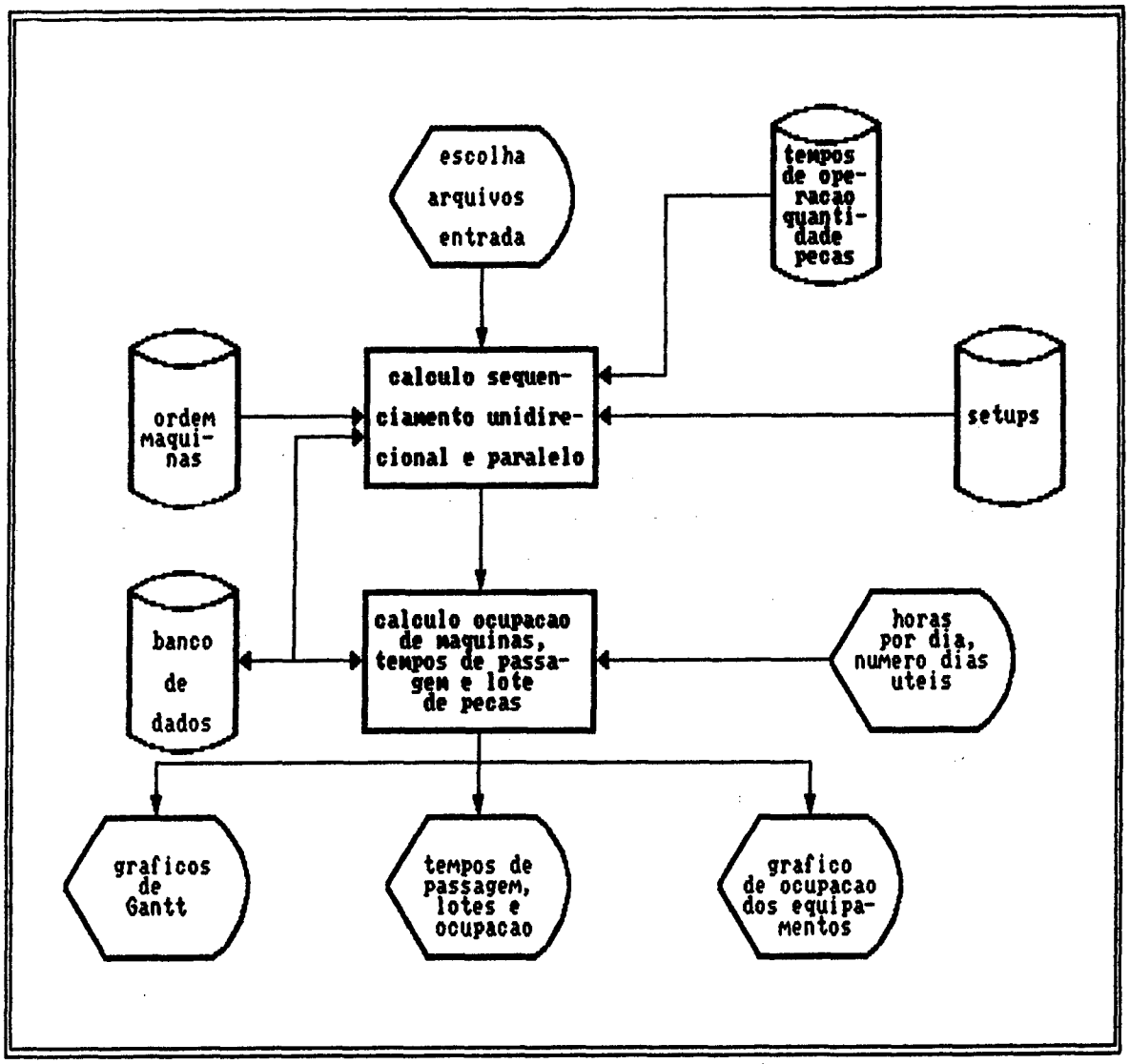

Figura 4.12 - Fluxograma de sistemas para sequenciamento e análise de ocupação de equipamentos.

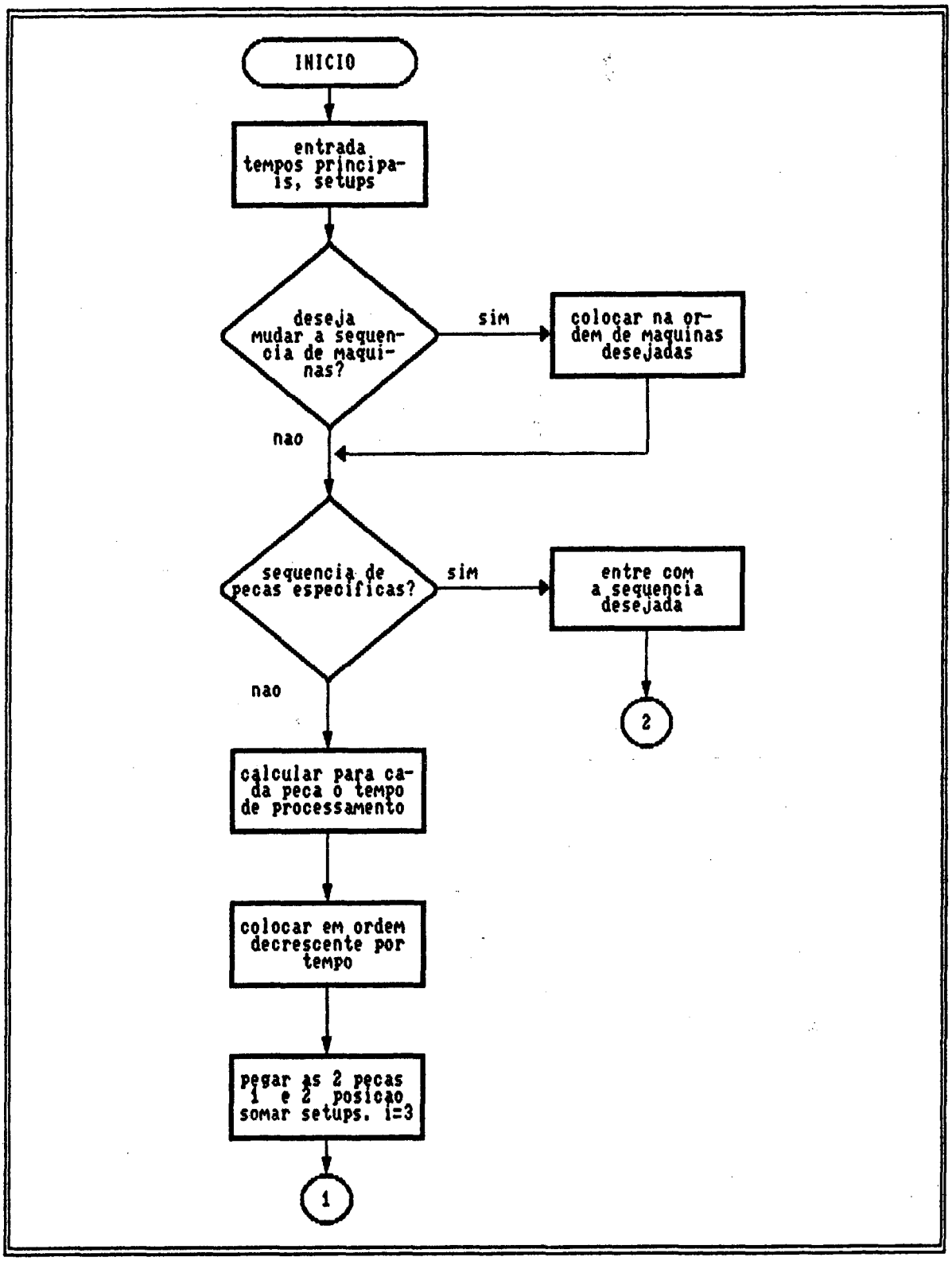

Figura 4.13 (a) - Fluxograma de lógica para sequenciamento e análise de ocupação de equipamentos.

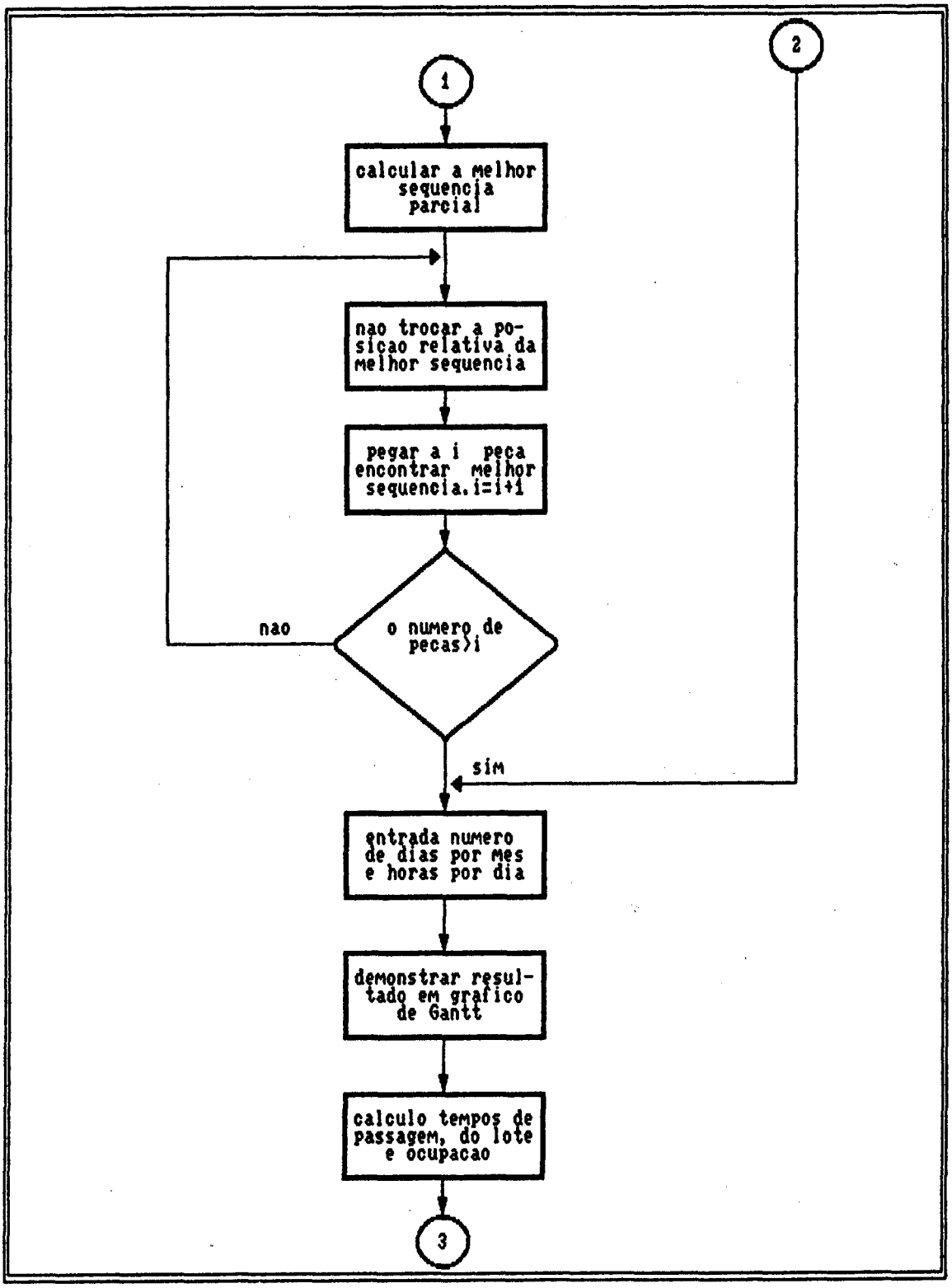

Figura 4.13 (b) - Fluxograma de lógica para sequenciamento e análise de ocupação de equipamentos.

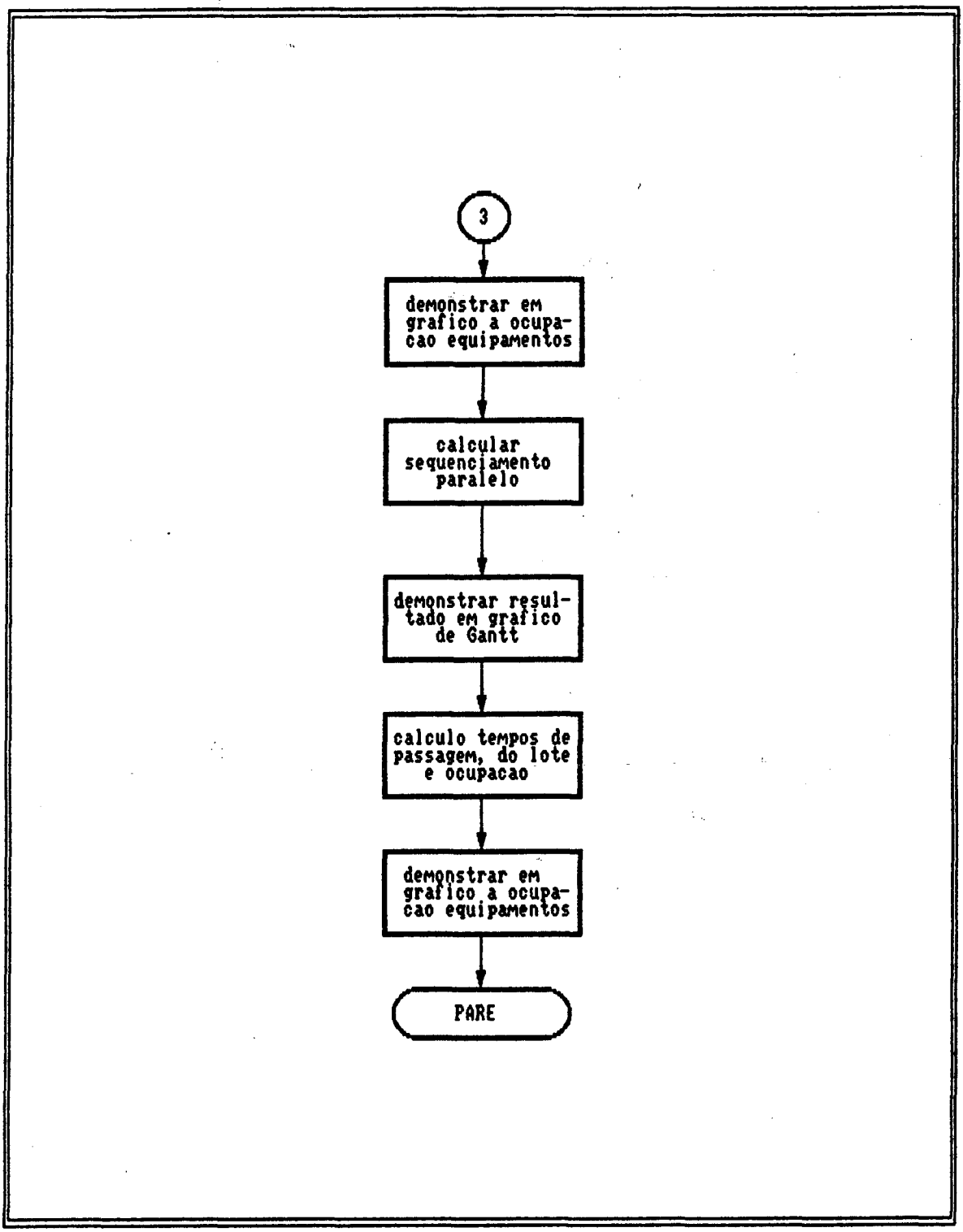

Figura 4.13 (c) - Fluxograma de lógica para sequenciamento e análise de ocupação de equipamentos.

4.4 - OPERAÇÃO

O sistema protótipo apresenta-se de forma compilada. Para sua operação, basta ligar o microcomputador com o sistema operacional MSDOS e caso o sistema esteja em discos flexíveis, colocar o disco com o programa fonte no acionador A e o disco de arquivos no B. Para carregá-lo basta digitar o nome do programa, que a princípio será chamado de "células".

Quando carregado o sistema protótipo, aparecerá no display a tela com o menu principal, mostrado na figura 4.14.. Mudando o cursor, seleciona-se a etapa do sistema que se deseja utilizar. Nota-se que a última opção é a saída do sistema para o sistema operacional. A seguir será explicado, pela ordem apresentada no menu (de cima para baixo), como utilizar cada etapa. Será demonstrado as principais telas de cada etapa.

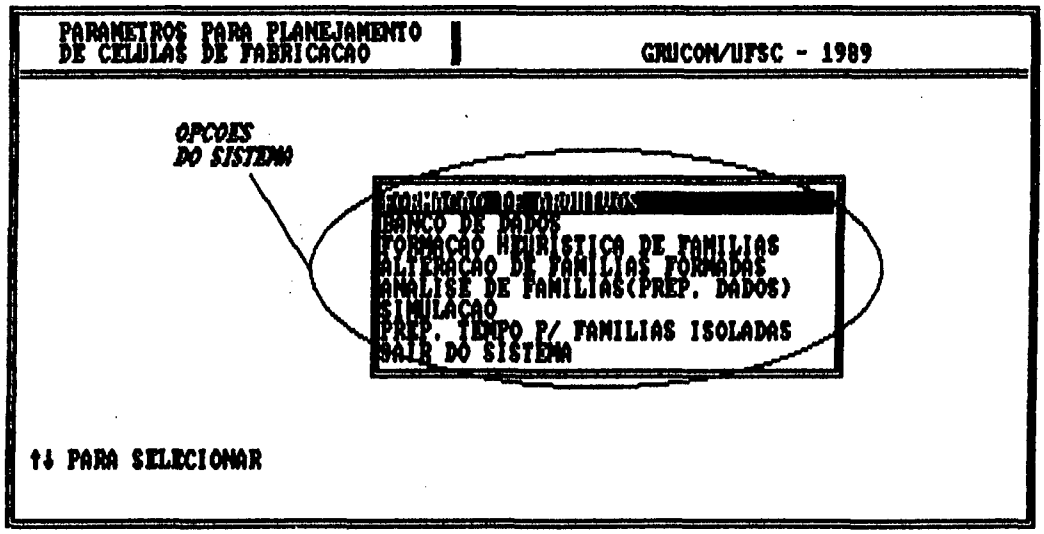

Figura 4.14 - Tela com menu principal.

4.4.1 - Formação de arquivos

Esta etapa, visa gerar o arquivo com a matriz binária que se quer analisar. Esta etapa prevê a numeração das peças e máquinas, de forma sequencial (1, 2, 3, ...), sendo necessário uma correspondência entre cada peça, ou cada máquina, com sua designação industrial. Isto é necessário para a posterior identificação de alguma peça ou máquina.

Ao "chamar" esta etapa, o sistema apresenta a tela mostrada na figura 4.15. Solicitando que o usuário entre com os dados requeridos.

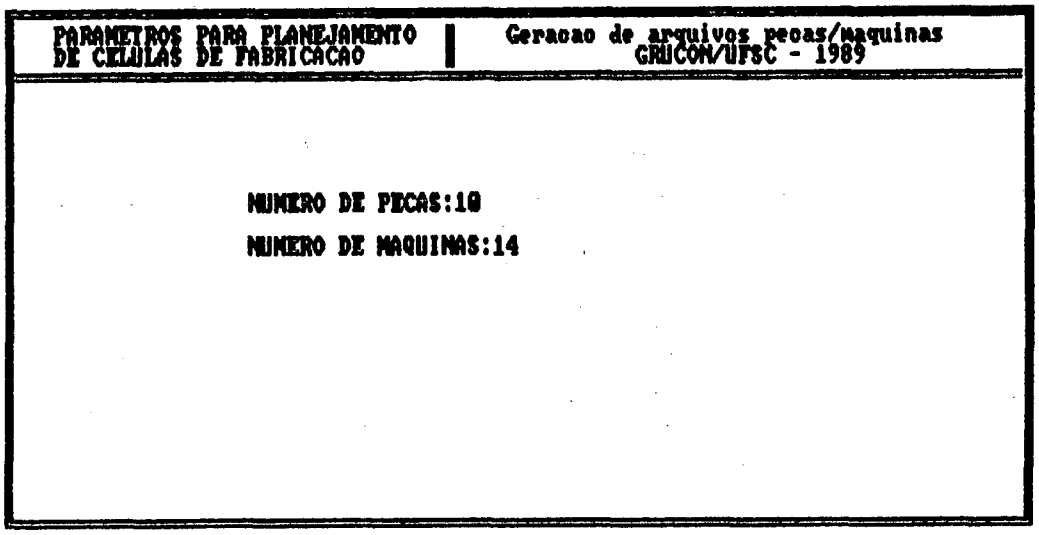

Figura 4.15 - 1a Tela para geração de arquivos peças/máquinas.

Na próxima fase (figura 4.16), indica-se quais máquinas são responsáveis pelo processamento de cada peça. O próximo passo é a indicação do nome do arquivo formado e seu endereço (figura 4.17). Após armazenada a matriz, volta-se para o

menu principal.

```
PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO  |  Geracao de arquivos pecas/maquinas
DE CELULAS DE FABRICACAO      |        GRUCON/UFSC - 1989

pecas              maquinas

  1   ---> 2 9 10 11
  2   ---> 2 3 5 7 12 14
  3   ---> 1 6 8 13
  4   ---> 1 4 8 13
  5   ---> 3 5 7 12 14
  6   ---> 1 4 6 8 13
  7   ---> 2 9 10 11
  8   ---> 3 5 7 12 14
  9   ---> 4 6 8 13
 10   ---> 2 9 10 11

     Apos cada entrada de dados pressionar ENTER
```

Figura 4.16 - Tela com peças x máquinas.

```
PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO  |  Geracao de arquivos pecas/maquinas
DE CELULAS DE FABRICACAO      |        GRUCON/UFSC - 1989

        DRIVE DO ARQUIVO? a
         NOME PARA O ARQUIVO GERADO:
          teste
          QUER IMPRESSAO
          EM FORMULARIO (s/n)?

     Apos cada entrada de dados pressionar ENTER
```

Figura 4.17 - Tela de saída para geração de arquivos peças/máquinas.

4.4.2 - Banco de Dados

A abordagem na execução do item anterior é mais

acadêmica. Por isto, para "ligar" os números que o sistema trabalha, que são sequenciais (1, 2, 3, ...), tanto para peças como para as máquinas, pode-se obter a matriz binária através de um banco de dados. Desta maneira, a metodologia desenvolvida permite uma adaptação do sistema aos códigos específicos de cada usuário, sem ficar específico a nenhum, como previsto anteriormente.

Por isto esta etapa quando executada chama um "gerenciador" de banco de dados (figura 4.18), desenvolvido em dBASE, que possibilita várias opções para o cadastramento das peças e das máquinas, que serão analisadas. A figura 4.19 mostra as opções, para o caso de um arquivo de peças que esta sendo formado.

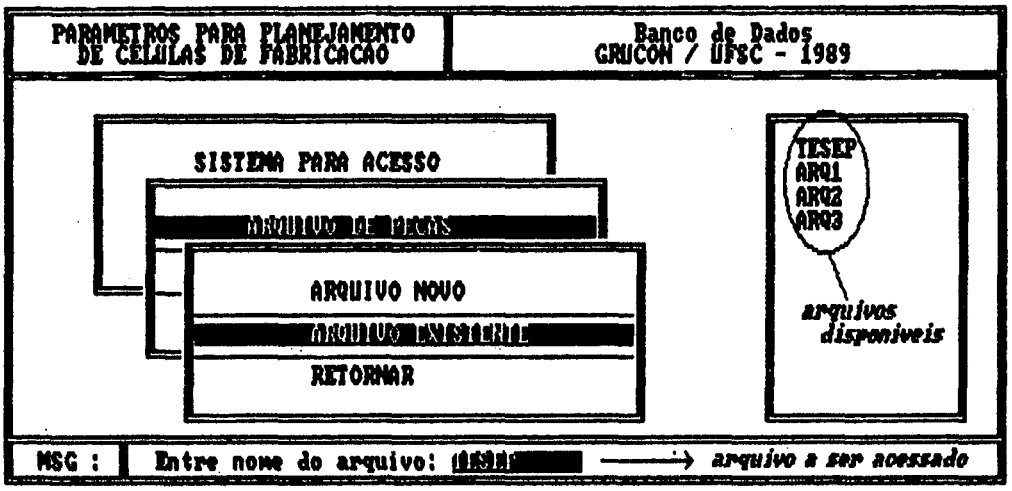

Figura 4.18 - Tela para acesso ao banco de dados.

Um exemplo do conteúdo dos arquivos de peças e máquinas é demonstrado pelas figuras 4.20 e 4.21.

Terminado todo o cadastramento é formada

automaticamente a matriz binária, e ficam disponíveis, ainda,

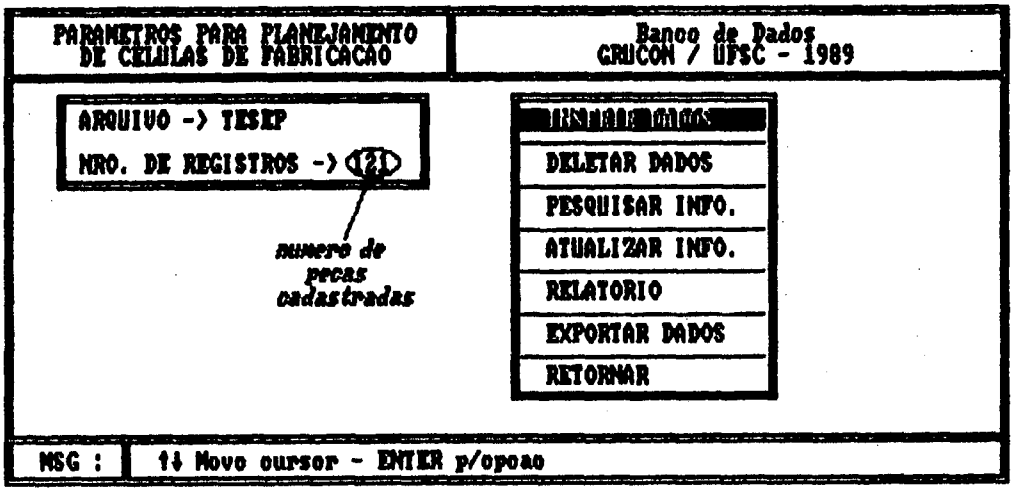

Figura 4.19 - Tela de opções para o arquivo de peças.

informações que poderão ser consultadas pelas etapas posteriores. A matriz binária é montada através da verificação de quais máquinas processam cada peça.

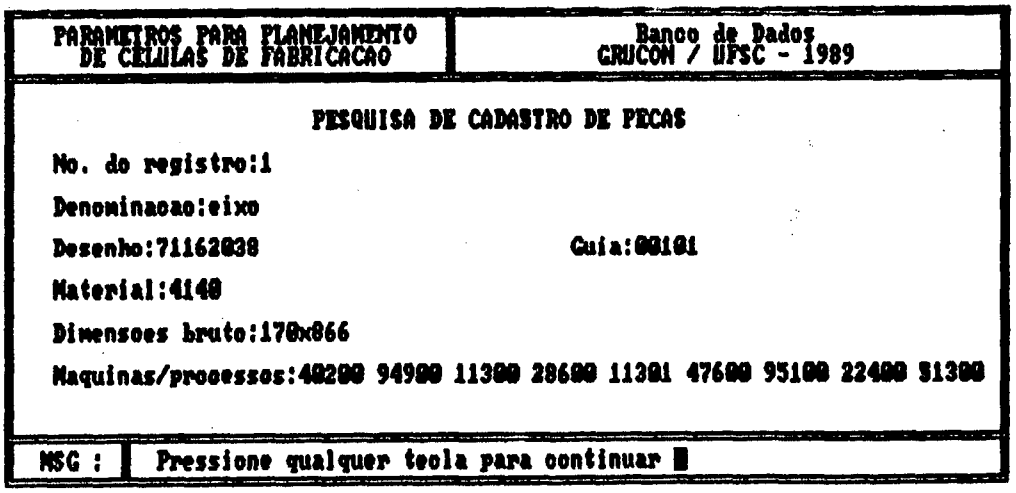

Figura 4.20 - Exemplo para cadastro de uma peça.

```
PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO          Banco de Dados
  DE CELULAS DE FABRICACAO          GRUCON / UFSC - 1989

                PESQUISA DE CADASTRO DE MAQUINAS
Nro. do registro:1
Denominacao:torno leve
Cod. industrial:11300
Nro. patrimonio:03.410.004.190
Dimensoes [mm]:_ longitudinal:1500
               _ transversal :205
               _ altura      :

MSG :  Pressione qualquer tecla para continuar
```

Figura 4.21 - Exemplo de cadastro de uma máquina.

4.4.3 - Formação heurística de famílias

Selecionado este item no menu principal o sistema apresenta a tela ilustrada na figura 4.22. Determinando-se o endereço e o nome do arquivo que se deseja analisar, determina-se então as famílias de peças com seus respectivos grupos de máquinas.

A figura 4.23 mostra o resultado obtido, assim como a opção de verificação de alguma família. A apresentação de uma família é mostrada pela figura 4.24. Após indicar o nome do arquivo e seu endereço (semelhante a figura 4.17), o sistema volta para o menu principal.

```
PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO  ▌  Formacao heuristica de familias
DE CELULAS DE FABRICACAO          GRUCON/UFSC - 1989

                DRIVE DO ARQUIVO? d
        NOME DO ARQUIVO? teste                          ARQUIVOS
                                                        DISPONIVEIS
                                                      ┌──────────┐
                                                      │DESTRI.DAE│
                                                      │TESTE.DAE │
                                                      │TESTEC.DAE│
                                                      │VERIF.DAE │
                                                      │VERAL.DAE │
                                                      │TBERE.DAE │
                                                      └──────────┘
PgDOWN proxima pag        PgUP pag anterior       DIGITE SOMENTE O NOME
↓ proximo  ↑ anterior
outra tecla para sair
```

Figura 4.22 - Tela de escolha de arquivo para se formar famílias.

```
PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO  ▌  Formacao heuristica de familias
DE CELULAS DE FABRICACAO          GRUCON/UFSC - 1989

ARQUIVO:teste
Arquivo agrupado automaticamente

                NUMERO DE PECAS: 10
                NUMERO DE MAQUINAS: 14
                NUMERO DE FAMILIAS: 3

            VOCE QUER VER AS FAMILIAS (s/n)?
```

Figura 4.23 - Tela de resultados do agrupamento em famílias.

```
PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO  |  Formacao heuristica de familias
DE CELULAS DE FABRICACAO      |          GRUCON/UFSC - 1989

                 FAMILIA: 2

                 PECAS DA FAMILIA:
                  10   1   7
                 TOTAL ---> 3
                 MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
                   2   9  10  11
                 TOTAL ---> 4
saida para
verificacao
das caracteristicas ou
 codigo industrial (peca ou maquina)
(F1) CONSULTA BANCO DE DADOS    Outra tecla continua
```

Figura 4.24 - Tela de informações sobre uma família.

4.4.4 - Alterações de famílias formadas

Esta etapa tem como primeira fase a indicação do acionador no qual se encontra o arquivo e qual se quer analisar (semelhante a figura 4.22). Salienta-se que o arquivo recuperado é um que contenha famílias formadas heuristicamente ou já alterados. A seguir faz-se a opção do que se deseja, agrupar famílias ou remanejar peças (figura 4.25).

Se a opção for agrupamento de famílias, como ilustrado na figura 4.25 especifica-se as famílias que serão agrupadas. A seguir mostra-se como fica a situação do arquivo

após a mudança, existindo a possibilidade de se agrupar outras famílias ou rearranjar peças. Se a opção for remanejar peças (figura 4.27), especifica-se qual peça será remanejada e para qual família. Em seguida indica-se o nome do arquivo e o endereço, onde será armazenado, semelhante a figura 4.17. A seguir volta-se para o menu principal.

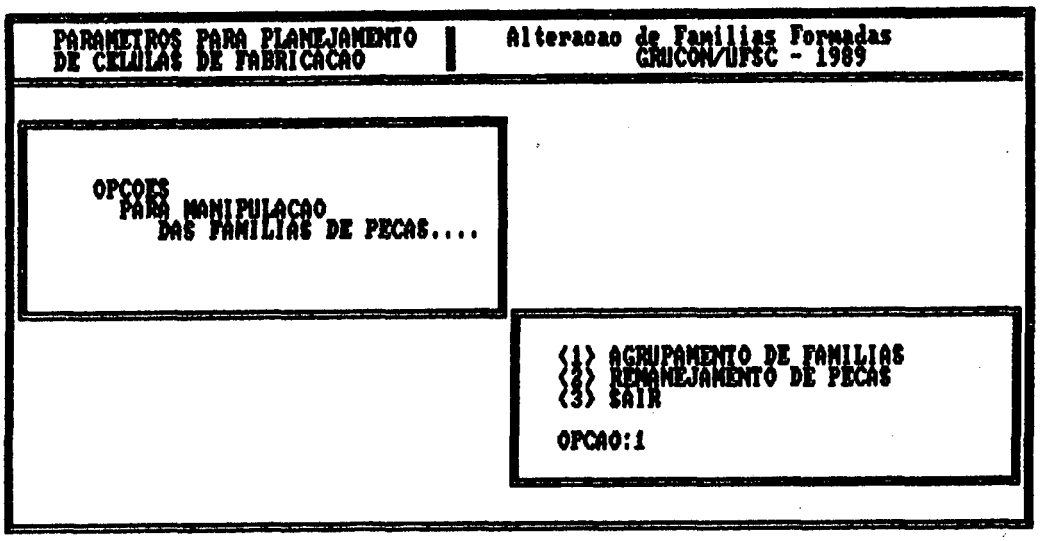

Figura 4.25 - Tela para opção de mudança nas famílias.

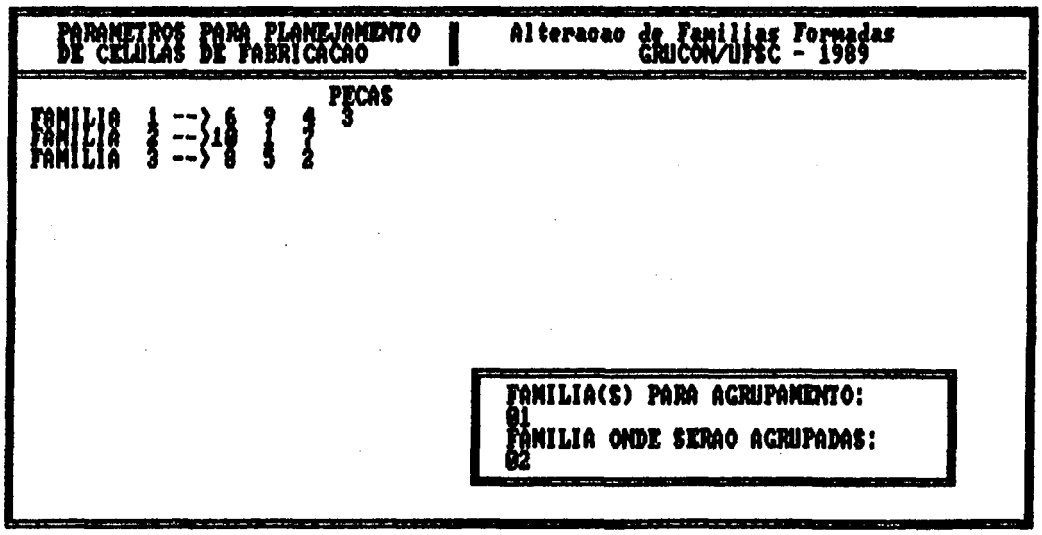

Figura 4.26 - Tela para agrupamento de famílias.

```
PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO  |  Alteracao de Familias Formadas
DE CELULAS DE FABRICACAO      |          GRUCON/UFSC - 1989

                        PECAS
FAMILIA  1 --> 6  4  3
FAMILIA  2 -->10  1  7
FAMILIA  3 --> 8  5  2  9

FAMILIA P/INSERCAO DA PECA? 3
PECA A SER REMANEJADA? 9

VOCE QUER REARRANJAR OUTRA PECA (s/n)? s
A FAMILIA CONTINUA A MESMA (s/n)? n
```

Figura 4.27 - Tela para remanejamento de peças.

4.4.5 - Análise Individual de famílias (prep. dados)

Como nas etapas anteriores, indica-se o endereço e nome do arquivo que se deseja pesquisar (figura semelhante a 4.22). Recupera-se então um arquivo de famílias agrupadas automaticamente ou com alguma alteração manual, operação demonstrada na figura 4.28.

```
PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO  |  Analise Individual de Familias
DE CELULAS DE FABRICACAO      |          GRUCON/UFSC - 1989

ARQUIVO:teste.daf
Arquivo agrupado automaticamente

NUMERO DE PECAS: 10
NUMERO DE MAQUINAS: 14
NUMERO DE FAMILIAS: 3

Pressione 'ENTER' para continuar
```

Figura 4.28 - Tela demonstrativa de um arquivo de famílias.

Indicando-se a família a ser analisada, mostra-se quantas e quais máquinas são por ela utilizada (figura 4.29).

```
PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO  |  Analise Individual de Familias
DE CELULAS DE FABRICACAO      |        GRUCON/UFSC - 1989

                 FAMILIA: 2

                 NUMERO DE PECAS: 3
                 NUMERO DE MAQUINAS: 4

                 MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
                  2  9 10 11

<F1> CONSULTA BANCO DE DADOS    Outra tecla continua
```

Figura 4.29 - Tela demonstrativa da família que irá se analisar.

Este grupo de máquinas pode compor uma futura célula que se deseja formar. Em seguida fornece-se ao sistema os tempos, em minutos, e a quantidade de cada peça que se deseja fabricar (figura 4.30).

```
PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO  |  Analise individual de familias
DE CELULAS DE FABRICACAO      |        GRUCON/UFSC - 1989

                 FAMILIA: 2

        MATRIZ TEMPO DE MAQUINAS
        TEMPO [min]/QTD [unid.]

peca/maq.   2     9     10    11    QTD.

  10       1.6   1.4   1.5   0.4   10
  1        1.7   1.3   1.2   1.0   10
  7        1.6   1.4   1.5   0.4   10
```

tempos unitarios de processamento pecas por maquinas

Figura 4.30 - Tela de informação de tempos de operação e quantidades de peças.

Nesta etapa também devem ser fornecidos os tempos de preparação ("setup") de cada máquina. Preparados estes tempos, dá-se o nome para o arquivo que vai armazenar estes dados. Há a possibilidade de prepararação dados para outra(s) família(s). A seguir o sistema volta para o menu principal.

4.4.6 - Simulação

Selecionada esta etapa, necessita-se da especificação do arquivo que se deseja analisar (semelhante a figura 4.22). Recuperado o arquivo, é possível uma verificação de seu conteúdo. Em seguida mostra-se a ordem de entrada das máquinas, sendo possível alterá-las, lembrando que aqui a célula obedecerá um sequenciamento tipo "flow shop". Apresenta-se a ordem de entrada das peças, sendo possível forçar uma entrada específica. Entretanto, cabe salientar que quando em fase de planejamento da célula, objetiva-se a determinação da sequência que minimiza o tempo de fabricação do lote. Então o certo é não optar por nenhuma sequência específica e deixar o sistema calcular a melhor. Para verificação da ocupação das máquinas é necessário fornecer o número de horas que se trabalha por dia e o número de dias úteis por mês (figura 4.31).

A seguir apresenta-se o tempo de passagem de cada primeira peça, o tempo de ocupação de cada máquina, a porcentagem do tempo de fabricação de todo lote que a máquina fica ocupada, o tempo para se fabricar todo lote e os gráficos de Gantt e de ocupação, tanto para o sequenciamento unidirecional sucessivo, quanto para o paralelo. Estas telas serão apresentadas no próximo

capítulo, que discorrerá sobre estudo de um caso. Ao ser terminada esta fase, volta-se novamente para o menu principal.

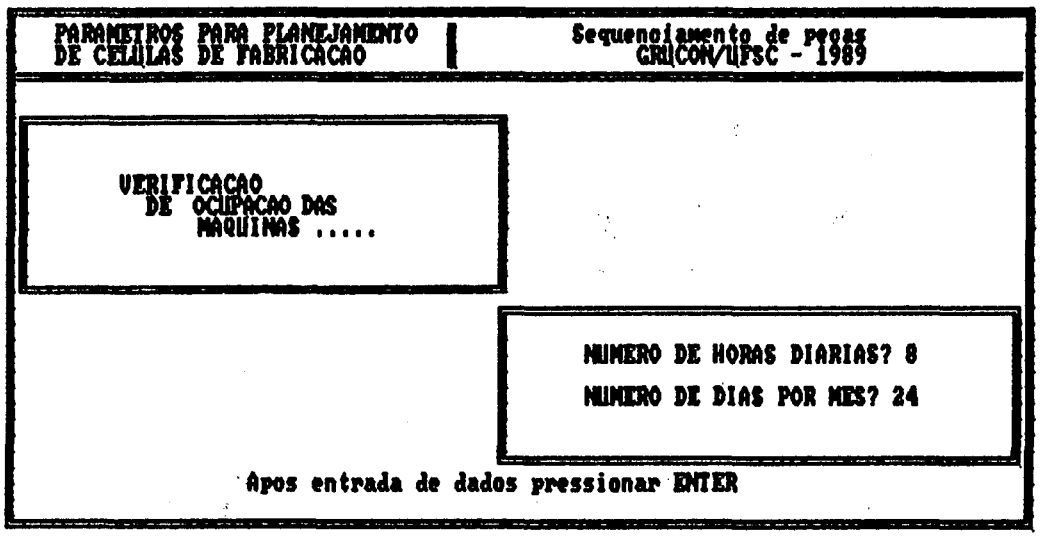

Figura 4.31 - Tela de informação de número de horas e dias úteis.

4.4.7 - Preparação de tempos para famílias isoladas

Esta fase é semelhante à análise individual de famílias, com a diferença que não há recuperação de arquivos e serão preparados dados para uma única família de peças, deve-se fornecer quantas e quais peças e máquinas serão analisadas. Os dados serão armazenados em arquivos que deverão ser posteriormente analisados pela etapa explicada no item 4.4.5. Em seguida volta-se para o menu principal.

CAPÍTULO 5

5 - ANÁLISE DE UM CASO

Para verificação da operacionalidade da metodologia implementada em um sistema protótipo, foi feita uma análise sobre um lote de peças de uma determinada empresa. Este lote consta de 121 peças que são processadas em 29 máquinas.

Foram incluídas eventuais operações intermediárias demoradas, como traçagem ou controle.

5.1 - CADASTRAMENTO DAS PEÇAS E MÁQUINAS

Como a amostra de 121 peças e 29 máquinas eram retiradas de caso real, a utilização do banco de dados era a mais adequada. Durante o processo de projeto de células, havia a possibilidade de consultas, tais como designação do número do desenho ou nome da peça, por exemplo. Após o cadastramento, a matriz binária era automaticamente formada.

Uma relação das peças e máquinas utilizadas encontra-se no apêndice D.

5.2 - FORMAÇÃO HEURÍSTICA DE FAMÍLIAS

Terminando o cadastramento, a análise heurística do

arquivo da matriz binária resultou na formação de 18 famílias. As informações sobre elas são sintetizadas nas tabelas 5.1 e 5.2. A relação das peças e máquinas de cada família encontra-se no apêndice E.

NUM. DE PECAS CLASSIFICADAS EM FAMILIAS: 115
NUM. DE MAQUINAS: 29
NUM. DE FAMILIAS FORMADAS: 18
NUM. DE PECAS ELIMINADAS: 6

Tabela 5.1 - Características gerais resultantes da análise do arquivo de entrada.

FAMILIA 1 NUM. DE PECAS= 2 NUM. DE MAQUINAS= 9	FAMILIA 2 NUM. DE PECAS= 12 NUM. DE MAQUINAS= 7	FAMILIA 3 NUM. DE PECAS= 23 NUM. DE MAQUINAS= 8
FAMILIA 4 NUM. DE PECAS= 6 NUM. DE MAQUINAS= 6	FAMILIA 5 NUM. DE PECAS= 24 NUM. DE MAQUINAS= 7	FAMILIA 6 NUM. DE PECAS= 3 NUM. DE MAQUINAS= 5
FAMILIA 7 NUM. DE PECAS= 3 NUM. DE MAQUINAS= 6	FAMILIA 8 NUM. DE PECAS= 2 NUM. DE MAQUINAS= 5	FAMILIA 9 NUM. DE PECAS= 6 NUM. DE MAQUINAS= 7
FAMILIA 10 NUM. DE PECAS= 4 NUM. DE MAQUINAS= 6	FAMILIA 11 NUM. DE PECAS= 3 NUM. DE MAQUINAS= 5	FAMILIA 12 NUM. DE PECAS= 2 NUM. DE MAQUINAS= 5
FAMILIA 13 NUM. DE PECAS= 2 NUM. DE MAQUINAS= 5	FAMILIA 14 NUM. DE PECAS= 2 NUM. DE MAQUINAS= 5	FAMILIA 15 NUM. DE PECAS= 15 NUM. DE MAQUINAS= 5
FAMILIA 16 NUM. DE PECAS= 2 NUM. DE MAQUINAS= 4	FAMILIA 17 NUM. DE PECAS= 2 NUM. DE MAQUINAS= 4	FAMILIA 18 NUM. DE PECAS= 2 NUM. DE MAQUINAS= 3

Tabela 5.2 - Características de cada família formada após análise do arquivo de entrada.

5.3 - FAMÍLIA A SER ANALISADA

Foi escolhida para ser analisada a família número 11 formada anteriormente. Embora, outras famílias possam também ser analisadas, a demonstração de um caso válida a metodologia implementada. As características desta família é mostrada na figura 5.1.

```
PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO  |  Analise Individual de Familias
DE CELULAS DE FABRICACAO      |          GRUCON/UFSC - 1989

                 FAMILIA: 11

                 NUMERO DE PECAS: 3
                 PECAS: 50 85 51
                 NUMERO DE MAQUINAS: 5
                 MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
                  6 13 17 23 24

<F1> CONSULTA BANCO DE DADOS    Outra tecla continua
```

Figura 5.1 - Características da família a ser analisada

Com os dados das folhas de processo (fluxo), das peças desta família, preparam-se os tempos de operação, tempos de preparação e quantidade de peças a serem fabricadas para simulação deste grupo de máquinas que poderá se tornar uma célula de fabricação. A figura 5.2 mostra algumas destas informações.

Foi admitido que a empresa trabalha 8 horas por dia, e 24 dias úteis no mês.

```
PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO  |              Simulacao
DE CELULAS DE FABRICACAO      |          GRUCON/UFSC - 1989

              MATRIZ DE ENTRADA (TEMPOS INDIVIDUAIS)
              --------------------------------------

              MAQUINAS(TEMPOS[min])

              13     23     24     6      17
              --     --     --     --     --
PECAS  51 |   72     5      20     12     53
       85 |   21     5      9      21     8
       50 |   72     5      25     14     53

                 peca  51 ----> quant.=   7
                 peca  85 ----> quant.=   2
                 peca  50 ----> quant.=   7
PgDOWN proxima pag          PgUP pag anterior
↓ proximo  ↑ anterior       → proximo  ← anterior
outra tecla para sair       <F1> CONSULTA BANCO DE DADOS
```

Figura 5.2 - Informações para simulação

5.4 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Com os dados preparados na etapa anterior, pode-se dividir a análise em duas partes:

- considerando sequenciamento de peças sucessivo unidirecional;
- considerando sequenciamento de peças paralelo unidirecional.

5.4.1 - Simulação considerando sequenciamento de peças sucessivo unidirecional.

A análise pode ser sintetizada pelas figuras 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7. Na figura 5.3 é mostrado o gráfico de Gantt para o melhor sequenciamento calculado. Notando que a sequência

que minimiza o tempo de fluxo é 50, 51 e 85.

Na figura 5.4 estão os tempos de passagem de cada tipo.

A figura 5.5 mostra o tempo de fabricação para todo o lote.

A ocupação porcentual de cada equipamento é demonstrado nas figuras 5.6 e 5.7.

Lembra-se que a ocupação das máquinas foi calculada considerando que elas estivessem dedicadas ao lote de peças.

5.4.2 - Simulação considerando sequenciamento de peças paralelo unidirecional.

De maneira semelhante ao processo anterior, mas através do sequenciamento paralelo unidirecional foram obtidos os resultados demonstrados pelas figuras 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, e 5.12.

5.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os resultados obtidos, verifica-se como previsto, que a disposição em células com programação de sequenciamento paralelo unidirecional,quando o grupo de máquinas esta dedicado à lotes específicos (famílias), há uma melhora em todos os iténs relevantes à fabricação.

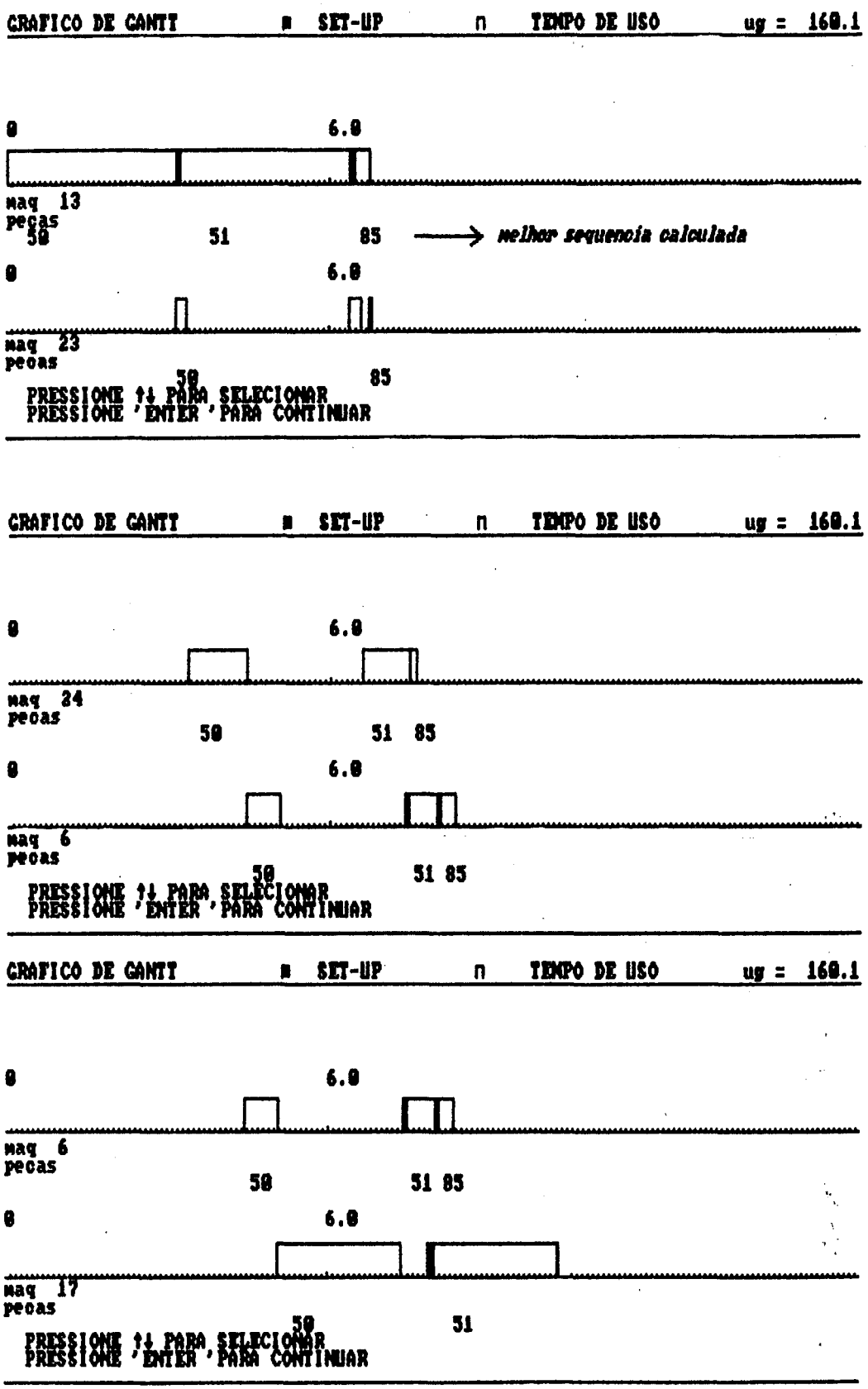

Figura 5.3 - Gráfico de Gantt para sequenciamento sucessivo unidirecional do exemplo.

```
PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO  ▌          Simulacao
DE CELULAS DE FABRICACAO                GRUCON/UFSC - 1989

TEMPO NECESSARIO PARA PRIMEIRAS PECAS DE CADA TIPO

PECA NUM: 50   0 MESES   1 DIAS  6 HORAS  24 MINUTOS
PECA NUM: 51   0 MESES   3 DIAS  6 HORAS  15 MINUTOS
PECA NUM. 85   0 MESES   2 DIAS  5 HORAS  54 MINUTOS

PgDOWN proxima pag        PgUP pag anterior
↓ proximo  ↑ anterior
outra tecla para sair
```

Figura 5.4 - Tempo de passagem para as primeiras peças de cada tipo (seq. sucessivo).

```
PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO  ▌          Simulacao
DE CELULAS DE FABRICACAO                GRUCON/UFSC - 1989

TEMPO NECESSARIO PARA FABRICACAO DO LOTE

        0  MESES
        3  DIAS
        3  HORAS
       52  MINUTOS

Pressione ENTER para continuar
```

Figura 5.5 - Tempo necessário para fabricar todo lote (seq. sucessivo).

PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO DE CELULAS DE FABRICACAO | Simulacao GRUCON/UFSC - 1989

PORCENTAGEM OCUPACAO DE MAQUINA

SEM SETUP (%)		COM SETUP (%)	
maquina 13 -->	63	maquina 13 -->	65
maquina 23 -->	5	maquina 23 -->	5
maquina 24 -->	20	maquina 24 -->	20
maquina 6 -->	13	maquina 6 -->	15
maquina 17 -->	44	maquina 17 -->	47

PgDOWN proxima pag
↓ proximo ↑ anterior
outra tecla para sair

PgUP pag anterior
(E1) CONSULTA BANCO DE DADOS

Figura 5.6 - Ocupação percentual de cada máquina (seq. sucessivo).

GRAFICOS DAS OCUPACOES PERCENTUAIS DE MAQUINA

OCUPACAO DAS MAQUINAS SEM SET UP :

MAQ 13 MAQ 23 MAQ 24 MAQ 6 MAQ 17

80 40 0

OCUPACAO DAS MAQUINAS COM SET UP :

MAQ 13 MAQ 23 MAQ 24 MAQ 6 MAQ 17

80 40 0

TEMPO NECESSARIO PARA FABRICACAO :

MES	DIA	HORA	MINUTO	PECAS DIF. PROD.	TOTAL PEC. PROD.
0	3	3	52	3	16

← → SELECIONA
'ENTER' SAI

Figura 5.7 - Gráfico representando a ocupação percentual (seq. sucessivo).

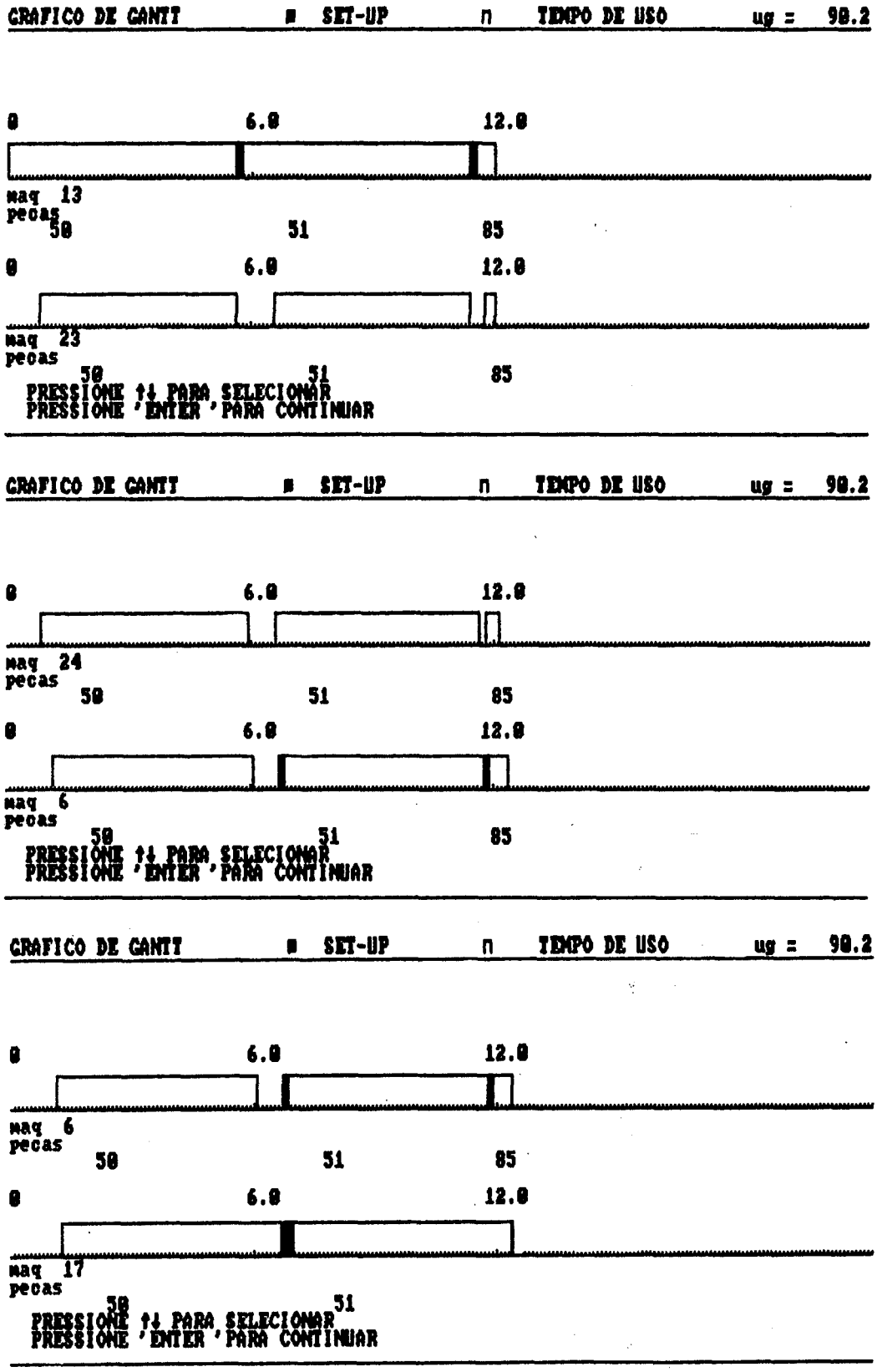

Figura 5.8 - Gráfico de Gantt para sequenciamento paralelo unidirecional do exemplo.

```
PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO  |          Simulacao
DE CELULAS DE FABRICACAO      |     GRUCON/UFSC - 1989

TEMPO NECESSARIO PARA PRIMEIRAS PECAS DE CADA TIPO

PECA NUM. 50   0 MESES   0 DIAS   2 HORAS   48 MINUTOS
PECA NUM. 51   0 MESES   1 DIAS   3 HORAS   21 MINUTOS
PECA NUM. 85   0 MESES   2 DIAS   2 HORAS   14 MINUTOS

PgDOWN proxima pag        PgUP pag anterior
↓ proximo  ↑ anterior
outra tecla para sair
```

Figura 5.9 - Tempo de passagem para as primeiras peças de cada tipo (seq. paralelo).

```
PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO  |          Simulacao
DE CELULAS DE FABRICACAO      |     GRUCON/UFSC - 1989

TEMPO NECESSARIO PARA FABRICACAO DO LOTE

        0  MESES
        2  DIAS
        2  HORAS
       52  MINUTOS

Pressione ENTER para continuar
```

Figura 5.10 - Tempo necessário para fabricar todo lote (seq. paralelo).

PARAMETROS PARA PLANEJAMENTO DE CELULAS DE FABRICACAO | Simulacao GRUCON/UFSC - 1989

PORCENTAGEM OCUPACAO DE MAQUINA

SEM SETUP (%)		COM SETUP (%)	
maquina 13 -->	93	maquina 13 -->	95
maquina 23 -->	7	maquina 23 -->	7
maquina 24 -->	29	maquina 24 -->	29
maquina 6 -->	20	maquina 6 -->	22
maquina 17 -->	65	maquina 17 -->	69

PgDOWN proxima pag
↓ proximo ↑ anterior
outra tecla para sair

PgUP pag anterior

(F1) CONSULTA BANCO DE DADOS

Figura 5.11 - Ocupação percentual de cada máquina (seq. paralelo)

GRAFICOS DAS OCUPACOES PERCENTUAIS DE MAQUINA

OCUPACAO DAS MAQUINAS SEM SET UP :

MAQ 13 MAQ 23 MAQ 24 MAQ 6 MAQ 17

80 40 0

OCUPACAO DAS MAQUINAS COM SET UP :

MAQ 13 MAQ 23 MAQ 24 MAQ 6 MAQ 17

80 40 0

TEMPO NECESSARIO PARA FABRICACAO :

MES	DIA	HORA	MINUTO	PECAS DIF. PROD.	TOTAL PEC. PROD.
0	2	2	52	3	16

← → SELECIONA
'ENTER' SAI

Figura 5.12 - Gráfico representando a ocupação percentual (seq. paralelo)

Para processamento de todo o lote há uma redução de tempo de quase 50%. E a ocupação percentual de cada equipamento aumenta em uma média de 45%. Nota-se também, que os tempos de passagem são menores. Assim, peças acabadas são obtidas em um intervalo de tempo menor.

Após a simulação a máquina que será gargalo é facilmente identificada. No caso do exemplo, o gargalo será a máquina 13, que é um torno.

Com estes dados levantados e com informações complementares, tais como, repitibilidade dos lotes e custo de movimentação das máquinas, ficará fácil analisar a viabilidade de se implementar esta célula de fabricação.

CAPÍTULO 6

6 - CONCLUSÕES

Esta pesquisa buscou a elaboração de um sistema que contribui para a automatização do projeto de células de fabricação.

A iniciativa de um trabalho desta natureza é relevante levantando aspectos tais, como por exemplo, utilização dos conceitos da Tecnologia de Grupo de uma maneira criteriosa e de forma a quem possa usufruir desta filosofia se convencer de sua real utilidade.

6.1 - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DESENVOLVIDO

Com a flexibilidade e iterabilidade dada ao sistema desenvolvido é possível um usuário avaliar rapidamente e comparar células com diferentes objetivos de projeto. Esta ferramenta possibilita a análise de um grande número de peças e máquinas, com maior rapidez e precisão que qualquer avaliação manual.

Primeiramente foi elaborado, de uma maneira de fácil utilização, um método baseado em análise de fluxo de fábrica, para formação de famílias. Trabalhar com matrizes binárias torna cansativo o processo de planejamento.

A interface com o banco de dados torna fácil a

interação com o usuário. Sendo simples, consultas sobre características das peças (que formam as famílias) ou das máquinas, que poderão ser células de fabricação.

Com a possibilidade da mudança das famílias (remanejamento de peças) ou agrupamento das famílias, fica o sistema flexível para qualquer mudança.

A parte de simulação analisa como deverá comportar a futura célula. Uma vantagem adicional desta etapa é ela poder ser utilizada para melhorar os fluxos dentro de uma indústria que utilize layout funcional, sem a necessidade do agrupamento em células. Isto torna-se possível através do uso do conceito de famílias e utilização do cálculo de sequenciamento.

Por outro lado, a formação de células possibilita uma melhor utilização dos equipamentos, devido a possibilidade de controle mais fácil e uso do sequenciamento paralelo unidirecional, conforme constatado pelo exemplo do capítulo 5.

As saídas gráficas permitem uma melhor compreensão e visualização do que deverá ocorrer com a célula em operação.

A Tabela 6.1 demonstra um resumo das características principais do sistema desenvolvido.

Com os resultados obtidos, conclui-se, que os objetivos pretendidos foram atingidos. O sistema, conduziu a análise de uma maneira bastante simples, tornando a tarefa de formação de famílias de peças e estimativa do comportamento do grupo de máquinas correspondentes, bastante eficiente e flexível. Desta maneira, fica disponível uma base para sistemas de planejamento de células de fabricação assistido por computador.

CARACTERISTICAS DO SISTEMA	
METODO PARA FORMAR FAMILIAS: ANALISE DE FLUXO DE FABRICA	
ENTRADAS:	**SAIDAS:**
-pecasxmaquinas; ou -cadastro de pecas e maquinas.	-familias de pecas; -grupos de maquinas.
SIMULACAO **CRITERIO: programacao unidirecional tipo "flow shop"**	
ENTRADAS:	**SAIDAS:**
-tempos de operacao; -numero de pecas do lote; -tempos de "setup"; -num. horas por dia; -num. dias por mes.	-"lead times" primeiras pecas; -tempo de processamento de todo lote; -melhor sequenciamento sucessivo e paralelo unidirecional; -grafico de Gantt das programacoes calculadas; -ocupacao percentual dos equipamentos (grafico).
FLEXIBILIDADES DO SISTEMA	
-alteracoes de pecas de uma familia para outra; -agrupamento de familias; -consulta a banco de dados com informacoes necessarias ao usuario; -calculo de sequencia de pecas previamente estabelecidas.	

Tabela 6.1 - Características do sistema

6.2 - OBSERVAÇÕES DECORRENTES DO USO DO SISTEMA

Com a utilização do sistema foram constatadas

algumas consequências decorrentes do seu uso.

Uma primeira consequência é que mesmo utilizando microcomputadores tipo AT, o processamento heurístico para obtenção de famílias de peças para matrizes grandes é relativamente lento. Isto se deve, ao processamento matemático "pesado".

Uma segunda consequência é que, realizada a análise do comportamento da célula (simulação), constata-se que algumas máquinas ficam sub utilizadas. Para contornar este problema, a solução é o balanceamento da linha, não só aumentando o número das máquinas que se tornaram gargalos, mas fazendo verificações de como se comportarão as demais máquinas após a duplicação de alguma delas. O balanceamento será deixado como sugestão para continuidade do trabalho.

No exemplo mostrado não se possuia informações sobre a repitibilidade dos lotes e os tempos de preparação corretos. Face este detalhe devem ser analisados novos casos com informações mais precisas.

6.3 - SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS

Este trabalho, sendo um protótipo, dá margem à continuidade de outros, que são deixados aqui como sugestões.

(1) Como consequência natural do estudo feito, a etapa de estudo de layout é relevante. A existência de um banco de dados que contenha símbolos que representem cada equipamento, que quando solicitado se ajustará a escala utilizada, permitirá

um estudo da melhor localização do equipamento na célula. Prevendo assim, áreas de circulação de pessoal, estoques e espaço total que a célula necessitará.

(2) A implementação em equipamentos com maiores velocidades de processamento permitirá uma melhor visualização deste estudo de layout e velocidade na execução dos algorítmos. E como consequência, análise de matrizes binárias e cálculos de sequenciamento para maiores volumes de dados de entrada.

(3) O desenvolvimento de um procedimento para inclusão de peças em famílias formadas e já dedicadas à células de fabricação, também é de importância. Para isto pode-se usar as técnicas de reconhecimento de padrões ("Pattern Recognition").

(4) Os parâmetros utilizados no algorítimo para formação de famílias não aceitam peças isoladas. Sendo estas eliminadas. Estas peças que podem ser arquivadas, devem ter um estudo para seu aproveitamento, por exemplo, serem consideradas na classificação de peças novas.

(5) O sistema foi desenvolvido para que, com os dados de operação utilizados, calcule-se o menor tempo de fabricação do lote. Isto significa que o tempo não é uma condição limitante, por isto após a implementação das células devem ser preparados algorítmos que considerem critérios, tais como:

- data limite para fabricação de lotes;
- mínimo custo;
- máxima produção.

que permitirão um controle adequado.

(6) Deve-se preocupar também, com algorítmos que

possibilitem sequenciamento para situação do "Job shop". A implementação de um algorítmo deste tipo viabilizará a formação de células em que as peças possuam rotas não unidirecionais.

(7) Deve ser dada ao sistema desenvolvido flexibilidade para mudança, inclusão de equipamentos nas células. Prevendo o balanceamento citado anteriormente. Isto implicará na mudança nas estruturas dos algorítmos.

6.3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Face as vantagens conseguidas, com a implantação de células de fabricação, a continuidade deste trabalho é de grande importância para um país que precisa otimizar seus processos de fabricação e pretende colocar seus produtos manufaturados no mercado exterior.

Finalmente , Tecnologia de Grupo, deve ser uma filosofia utilizada não só para melhorar os aspectos da fabricação, mas deve ser amadurecida e utilizada por todos setores da indústria dentro de um conceito de integração total.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

[01] CARVALHO, W.M. "CIM Introdução da manufatura celular", 7º SCNB. pp 01-38/1987.

[02] MOURA, R.A. "Produção Just-in-time" - Iman - 1987.

[03] GONÇALVES FILHO, E.V. "Introdução à Tecnologia de Grupo: um novo enfoque em sistemas de produção." Dissertação de mestrado. USP - Escola de Engenharia de São Carlos. 1982.

[04] GROOVER, M.P. "Automation, Production Systems, and Computer Aided Manufacturing" Prentice - Hall, Inc. - 1980.

[05] GROOVER, M.P. and ZIMMERS, E.W. "CAD/CAM: Computer Aided Design and Manufacturing" Prentice - Hall, Inc. - 1984.

[06] GROOVER, M.P. "Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing" Prentice - Hall, Inc. - 1987.

[07] PAPAS, P.N. "Parts Coding, A cost effective Management tool". CASA/SME Applying Group Technology Siminar Supplement. 1986.

[08] HARTLEY, J. "FMS AT WORK". IFS (Publications) Ltd. UK. 1984.

[09] HYER, N.L. "The potencial of Group Technology for U.S. Manufacturing". Journal of Operations Management, Vol. 4, Nr. 3, May 1984.

[10] GALLAGHER, C.C. e KNIGHT, W.A. "Group Tecnhnology" London Butter worths and Co. (Publishers) Ltd, 1973.

[11] CHANG, T.C. e WYSK, R.A. "An Introduction to automated process planning systems". Prentice - Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey - 1985.

[12] MOREIRA, M.E. "Aumento de produtividade na fábrica com modelo Japonês". Automação e Indústria. Março de 1988.

[13] WU, A.; ARAGRE FILHO, A. and KAWAKAMI, M. "Simplificação, a etapa que antecede a automação". Automação e Indústria. Outubro/Novembro de 1987.

[14] HYER, N.L. "Group Technology and productivity". Capabilities of Group Technology. The Computer and Automated Systems Assocition of SME Deaborn, Michigan 48121. 1987.

[15] HAM, I. "Tecnologia de Grupo e sistemas de fabricação relacionados com fabricação assistida por computador (CAM)". Tradução.

[16] BURDIBGE, J.L. "The introduction of group technology". Butter and Tanner Ltd - 1975.

[17] GALLAGHER, C.C. "Group Technology Production Methods in Manufacture". Ellis Horwood Limited - Great Britain - 1986.

[18] MACHADO, V.A.C. "Tecnologia de grupo uma filosofia de Produção". Apostila - Depto. de Informática Universidade Nova de Lisboa - Portugal/1986.

[19] HYER, N.L. e WEMMERLOV, U. "Group Tecnhnology oriented Goding-Systems: Structures, Applications, and Implementation". Production and Inventory Managemet. Journal of the American Production and Inventory control society. 1985.

[20] RAY, M. "Group Technology" A Pragmatic Approach for Factory Design". CASA/SME AUTOMACH. Australia. Conference, May 1984.

[21] LOPEZ, E.O. and PURCHECK, G.F. "Load Balancing for group technology planning and control". J. March Tool Des. Res. Vol 19 pp. 259-274/1979.

[22] GONÇALVES FILHO, E.V. "Computer Aided Group Technology Party Family Formation Based on Pattern Recognition Techniques". Tese de doutorado. Pennsylvania State University - 1988.

[23] SÉRIO, L.C. "Tecnologia de Grupo no planejamento de sistemas produtivos". Curso SOBRACON.

[24] HENDERSON, M.R. e MUSTI, W. "Automated Group Technology Part Coding From a Three - Dimensional CAD Database". Transactions of the ASME, Vol. 110, 1988.

[25] WANG, H.P. e CHANG, H. "Automated Classification and Coding Based on Extracted Surface Features in a CAD Data Base". The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, pp. 25-38, 1987.

[26] LOGAR, J.G.; HLEBANJA, F. e PEKLENIK, J. "Design of the Database for CAD Based on Group Technology". Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Vol. 4, Nr. 1/2 pp. 49-62/1988.

[27] GRILLO, R.C.M. "Introdução do software OIR - Tecnologia de grupo MULTICLASS/CAPP no sistema CAD/CAM e implementação na engenharia do produto e manufatura". Simpósio sobre CAE/CAD/CAM. SOBRACON junho/1988.

[28] TEIXEIRA, J.P. e MACHADO, V.C. "Novos Modelos de Classificação na Tecnologia de Grupo".

[29] CHAN, H.M. and MILNER, D.A. "Direct Clustering Algorithm for Group Formation in Cellular Manufacture". Journal of Manufacturing Systems. Volume 1, Number 1.

[30] KING, J.R. "Machine component grouping in prodution flow analysis: an approach using a rank order clustering algorithm" Int. J. Prod. Res., 1980, Vol. 18, Nr. 2, pp 213-232.

[31] KING, J.R. and NAKORNCHAI, V. "Machine - Component group formation in group technology: review and extension" Int. J. Prod. Res. 1982. Vol. 20, Nr. 2, 117-133.

[32] WAGHODEKAR, P.H. and SAHU, S. "Machine Component cell formation in group technology: MACE". Int. J. Prod. Res. Vol. 22, Nr. 6, pp 937-948/1984.

[33] CHANDRASEKHARAN, M.P. and RAJAGOPALAN, R. "ZODIAC an algorithm for concurrent of part-families and Machine-cells". Int. J. Prod. Res., Vol. 25, Nr. 6, pp. 835-850/1987.

[34] MOSIER, C. and TAUBE, L. "Weighted Similary Measure Heuristics for the Group Technology Machine Clustering Problem". OMEGA, Vol. 13, Nr. 6, 1985. pp. 577-579.

[35] SEIFODDIN , H. and WOLFE, P.M. "Application of the Similarity Coefficient Method in Group Technology" IIE Transactions, September 1988.

[36] NAWAZ, M. "A Heuristic Algorithm for the m-Machine, n-Job Flow-shop Sequencing Problem". OMEGA - The Int. J.of Mgnt S. Vol 11 Nr. 1 pp. 91-95, 1983.

[37] FERNANDES, C.A.O. "Análise e implementação de métodos de geração de programas de produção para sistemas modernos de manufatura". Dissertação de mestrado. UNICAMP - 1985.

[38] BROWN, M.C. "An Automated Tool for Designing Group Technology Cells" SME EMTAS'88 Conference, March 1988.

[39] KLOPP, R.L.; SMITH, J.D. "Application of Group Technology to factory design". CASA/SME. Autofact'85. Conference, November 1985.

[40] RAY, M. "A Pragmatic Approach for Factory Design". CASA/SME AUTOMACH, Australia/84. Conference, May 1984.

[41] HUSAIN, M. e LEONARD, R. "The design of standard cells for group technology by the use of Machine tool and workpiece statistics"

BIBLIOGRAFIA AUXILIAR

[01] ALLISON, J.W. e VAPOR, J.C. "GT approach proves out". American Machinist, February, 1979.

[02] BURBIDGE,J. L. "Planejamento e controle da produção." Editora Atlas. 1981.

[03] CAMPBELL, H.G.; DUDEK, R.A. e SMITH, M.L. "A heuristic algorithm for the n Job, m Machine sequencing problem". Management Science. Vol. 16, Nr. 10, 1970.

[04] CHANDRASEKHARAN, M.P. e RAJAGOPALAN. "An ideal seed non-hierarchical clustering algorithm for cellular manufacturing." INT. J. PROD. RES. 1986. Vol. 24. Nr. 2 pp. 451-464.

[05] DALMOLIN, J.R. "Avaliação iniciais para a implementação de uma célula flexível de manufatura". Trabalho de conclusão de graduação. ITA divisão de engenharia aeronáutica. 1987.

[06] DAVIS, W.S. "Análise e projeto de sistemas, uma abordagem estruturada". Livros técnicos e científicos editora S.A. 1987.

[07] GRAVES, S.C. "A review of Production Scheduling". Operations Research. Vol. 29. Nr. 4. 1981.

[08] GUPTA, J.N.D. "A General Algorithm for the nxm Flowshop scheduling Problem." The International Journal of

Production Research (1969), Vol. 7, Nr. 3.

[09] HALEVI, G. "GT, not coding and classification". American Machinist, August 1978.

[10] HITOMI, K. "Machine loading for Group Technology Applications". Annals of the CIRP. Vol. 23/1/1977.

[11] HOUTZEEL, A. "The many faces of group technology". American Machinist, January 1979.

[12] KING, J.R. e SPACHIS, A.S. "Heuristics for flow shop scheduling." INT. J. PROD. RES. 1980, VI. 18, Nr. 3 pp. 345-357.

[13] KINNEY Jr., H.D. and MCGINNIS, L.F. "Design and Control of manufacturing cells" IIEI. October 87 pp. 28-38.

[14] KNOX, C. "CAD/CAM and group technology: the answer for systems integration". IIEI Novembro - 80.

[15] KUSIAK, A. "The generalized Group Technology concept". INT. J. PROD. RES. 1987, Vol. 25, Nr. 4, pp. 561-569.

[16] MASSBERG, W. "Fabricação racional de peças isoladas e em pequenos lotes com utilização de ilhas autônomas de fabricação baseadas na Tecnologia de Grupo". Tradução. Encontro Nacional de Atualização Tecnológica em Engenharia Mecânica." Florianópolis - 1982.

[17] MOSIER, C. e TAUBE, L. "The facets of Group Technology and Their Impacts on Implementation - A Statc - of - the Art Survey." OMEGA Int. J. of Mgmt Sci., Vol. 13, Nr. 5, pp.

381-391/1985.

[18] NAGARKAR, C.V. e FOGG, B. "Application of Group Technology to Manufacture of sheetmetal Components". Annals of the CIRP, Vol. 28/1/1979.

[19] NOVASKI, O. e SANTA, W.D. "Aspectos gerais da tecnologia de grupo". UNICAMP - Publicação CT Nr. 10 - 1988.

[20] NAVEIRO, R.M. "Tecnologia de Grupo e projeto de produto - Avaliação do uso de sistemas de Classificação e Codificação de peças nas ativiades do projeto". 7º SCNB - 1987 SOBRACON.

[21] OLIVÉRIO, J.L. "A manufatura celular". Apostila IMAN. 1984.

[22] RENTES, A.F.; CARVALHO, D.T.; FILHO, N.G.; "Sequenciamento da produção em células de manufatura baseadas em Tecnologia de Grupo". 8º SOBRACON 1988.

[23] SÉRIO, L.C. "Células de fabricação e comando numérico". 3º SCNB - SOBRACON.

[24] VINDD, B. e SOLBERG, J.J. "The optimal design of flexible manufacturing systems". INT. J. PROD. RES. 1985, Vol. 23, Nr. 6, 1141-1151.

[25] WEMMERLOV, U. e HYER, N. "Research issues in cellular manufacturing". INT. J. PROD. RES. 1987, Vol. 25, Nr. 3, 413-431.

APÊNDICE A - DIAGRAMA DE FLUXO DE DADOS

O diagrama de fluxo de dados utiliza quatro símbolos básicos para formação de um quadro de um sistema lógico. Estes símbolos são mostrados na figura A.1. O retângulo com cantos arredondados (alguns especialistas utilizam o círculo) representa um processo que transforma dados, o retângulo aberto em um lado é um depósito de dados e a seta é usada para identificar o fluxo de dados.

Cabe a observação que o processo não é necessariamente um programa. Um único processo poderá representar uma série de programas, um único programa, ou um módulo dentro de um programa; ele poderá até representar um processo manual, tal como a perfuração ou a conferência visual de dados. O depósito de dados também não é, necessariamente, um arquivo.

O diagrama de fluxo de dados é um modelo lógico do sistema, sendo então desvinculado do "software" e do "hardware", da estrutura de dados ou da organização do arquivo; não há nenhuma implicação física no diagrama de fluxo de dados. Como o diagrama é um quadro gráfico do sistema lógico, ele tende a ser de entendimento fácil mesmo para usuários não técnicos, e assim serve como uma excelente ferramenta de comunicação. O diagrama de fluxo de dados é um bom ponto de partida para o projeto de sistema.

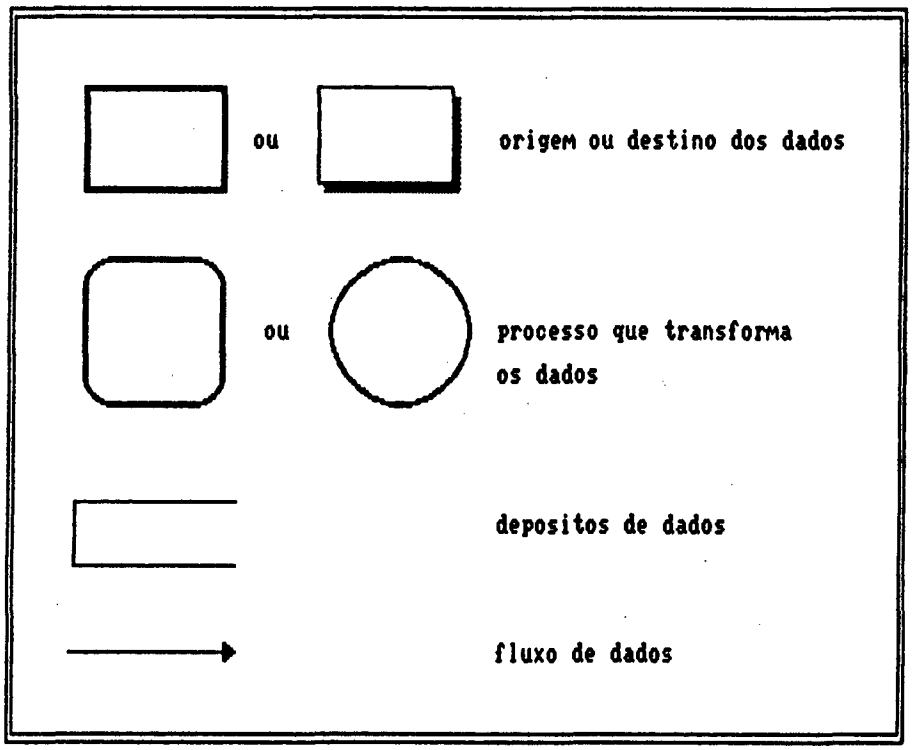

Figura A.1 - Simbolos do diagrama de fluxo de dados.

APÊNDICE B - FLUXOGRAMA DE SISTEMAS

O fluxograma de sistema é uma ferramenta tradicional para descrever um sistema físico. A idéia básica é suprir um símbolo para representar, a nível de "caixa preta", cada componente discreto do sistema - programa, arquivos, formulários, procedimentos, e assim por diante. O fluxograma de sistemas é mais concreto que o diagrama de fluxo de dados. Com este fluxograma, é possível visualizar como o sistema será implementado. Embora alguns dos símbolos sejam os mesmos, os fluxogramas de sistemas são bastantes diferentes dos fluxogramas de lógica de programa (Apêndice C).

Quando o fluxograma do sistema é desenhado, um símbolo distinto é utilizado para cada componente discreto no sistema. A figura B.1 ilustra um resumo das figuras utilizadas nesta dissertação.

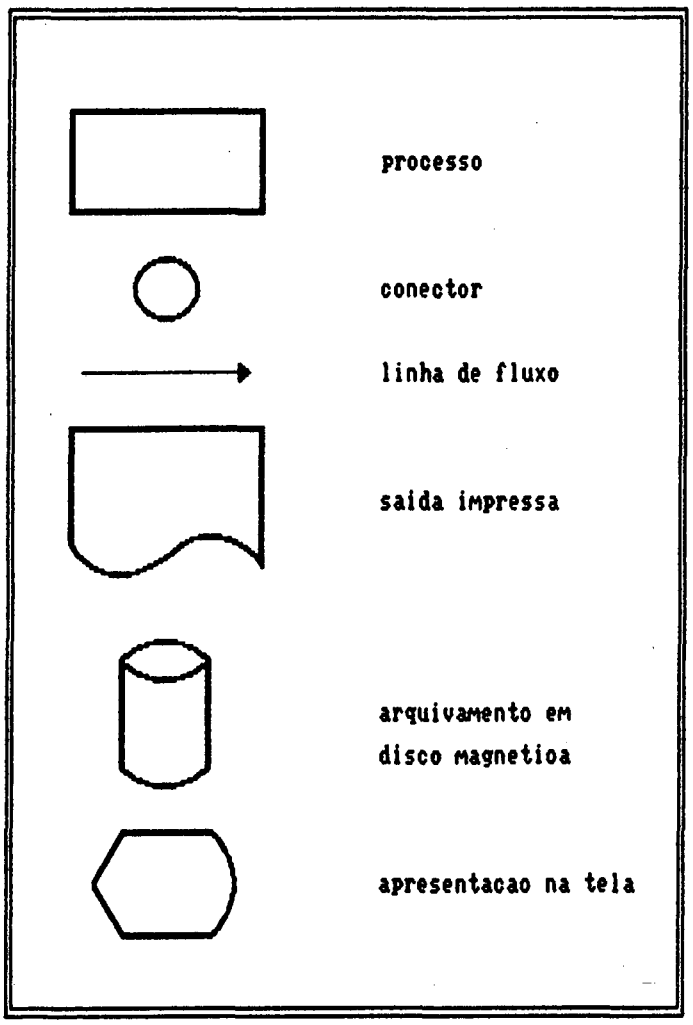

Figura B.1 - Símbolos de fluxogramas de sistemas.

APÊNDICE C - FLUXOGRAMA DE LÓGICA

É a representação gráfica da lógica do programa. Utiliza-se os símbolos-padrão ilustrados na figura C.1. São vinculados por linhas de fluxo que apresentam a sequência e a direção do fluxo. Por convenção, a lógica flui de cima para baixo, e da esquerda para direita. Acrescentam-se setas às linhas de fluxo para indicar desvios deste padrão normal. Como as setas tornam o fluxograma mais fácil de ler, são sempre utilizada.

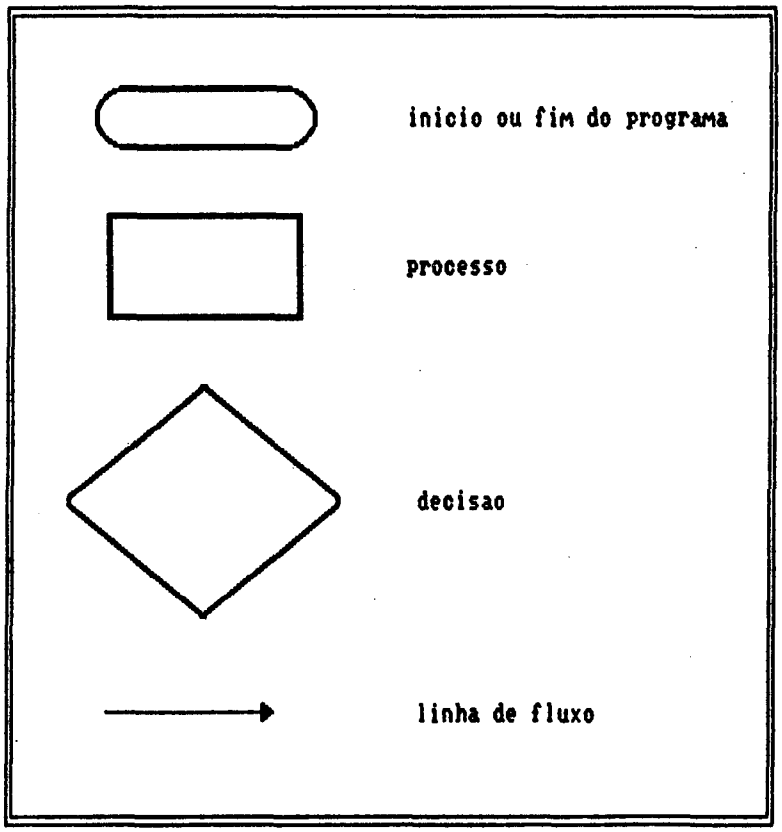

Figura C.1 - Símbolos de fluxogramas de lógica.

APÊNDICE D - MÁQUINAS E PEÇAS

Page No. 1
05/12/03

```
*************************************************************
* RELATORIO DE DEMOSTRACAO DO CONTEUDO DO BANCO DE DADOS    *
*                        ARQUIVO DE MAQUINAS                *
*************************************************************
```

No.	Cod. fab	Denominacao
1	11300	torno leve
2	12700	torno medio
3	12800	torno grande
4	14200	torno vertical
5	16300	torno leve copiador
6	22400	furadeira radial
7	22500	furadeira radial
8	22600	furadeira radial
9	26200	mandrilhadora
10	26300	mandrilhadora
11	27300	mandrilhadora
12	28600	trepanadeira
13	32700	plaina limadora
14	38600	brochadeira
15	40200	serra hidraulica
16	42000	fresadora
17	42800	fresadora vertical
18	47600	fresadora de rasgos
19	49300	serra circular
20	51300	retifica externa
21	53800	retifica interna
22	57100	cortadeira a disco
23	94900	rebarbacao
24	95100	tracagem
25	17000	torno leve nc traubtns 42
26	19400	facear e centrar
27	52800	retifica interna
28	11301	torno leve
29	40300	serra hidraulica

1 torno
1 leve

Page No. 1
06/24/89

```
*************************************************************
* RELATORIO DE DEMONSTRACAO DO CONTEUDO DO BANCO DE DADOS   *
*                      ARQUIVO DE PECAS                     *
*************************************************************
```

No.	Desenho	Denominacao	Maquinas
1	71162038	eixo	40200 94900 11300 28600 11301 47600 95100 22400 51300
2	71161838	roda lisa	14200 95100 22400
3	71161738	roda com flange	14200 95100 22400
4	01103117	tampa dia600/165x104	12800 95100 22400 94900 52800
5	71161938	eixo	40200 94900 11300 95100 22400 51300
6	01104017	pino dia 85,01x150	49300 11300 42800 94900 95100 22400
7	01102217	biela 78x250x672	94900 95100 26200 16300 11300 42000
8	01103217	anel	42800 94900 95100 22400 11300
9	01100717	eixo dia.150x800	11300 47600 94900 51300 40600
10	00899517	tampa	40600 11300 95100 22400 11301
11	00899317	bucha 199/145x705	12800 51300 99000
12	00004317	cruzeta dia 240x320	12700 26200
13	00004017	porca dia 55/m30x45	49300 11300 42800
14	00004917	paraf.sw 24x88	40200 11300 42800
15	01102217	biela 78x250x672	49300 26200 94900 22600 26300
16	30698117	tampa dia 600x66	12800 95100 26200 22400
17	71162238	mancal	12800 95100 22400
18	71128538	tampa	11300 95100 22400
19	01100817	tampa	12700 95100 22400 26200
20	00630817	tampa	49300 11300 95100 22400
21	00004717	arruela dia 60x8	40200 11300 95100 22400 32700
22	71245738	pino 445x295	40200 11300 95100 22400
23	71228438	arruela	11300 95100 22400
24	71162638	arruela	11300 95100 22400
25	71162438	tampa	11300 95100 22400
26	71162338	tampa	11300 95100 22400
27	71162238	mancal	12800 95100 22400
28	71162538	distanciador	40200 11300
29	71163638	distanciador	40200 11300 38600

Page No. 2
06/24/89

```
*************************************************************
* RELATORIO DE DEMONSTRACAO DO CONTEUDO DO BANCO DE DADOS   *
*                        ARQUIVO DE PECAS                   *
*************************************************************
```

No.	Desenho	Denominacao	Maquinas
30	00316317	adapt. sextavado	40200 11300
31	00003917	parafuso dia. 55x276	42800 51300 11300
32	30623117	tubos	40200 11300
33	30623117	base	95100 27300
34	11112217	biela 78x250x272	22500 94000 42000 49300 26300 28600
35	01102917	tampa	26200 94900 12800 95100 22400
36	00003917	parafuso dia 55x276	40200 16300
37	30698117	luva dia 25.4x65	40200 11300
38	00199817	tampa	11300 22400
39	30344017	tarugo dia 44.45x27	40200 42800
40	30344017	parafuso pris.	40200 11300 17000 42800 19400
41	30344017	prisioneiro m24x220	40200 11300 19400 17000 11301
42	30344017	tubo rosc.	40200 11300
43	30344017	apoio do mancal	22500 42800 12700 95100
44	30344017	flange cf:fl:03	11300 95100 22400
45	30344017	pino conico	40200 19400 11300 51300
46	00750817	tampa lado motor	26200 94900 22600 14200 95100
47	30344017	tarugo dia 44.45x27	40200 42800
48	30344017	carcaca	26300 40200 11300
49	30344017	parafuso prisio. m24x226	40200 11300
50	30406517	tampa do visor	32700 94900 55100 22400 42800
51	30406417	base do visor	32700 94900 95100 22400 42800
52	30344017	tubo rosc r1"x275	40200 11300
53	30344017	apoio do mancal	95100 22500 42800 12700
54	30344017	flange cf:fl:03	11300 95100 22400
55	20745517	tampa 560x390x11	42000 94900 22400
56	00744817	guia de cruzeta 410	22600 40200 11300
57	00744817	guia de cruzeta	26300 14300 26301 12500
58	00744817	guia de cruzeta	26300 14300 22600

Page No. 3
06/24/89

```
*************************************************************
* RELATORIO DE DEMONSTRACAO DO CONTEUDO DO BANCO DE DADOS   *
*                      ARQUIVO DE PECAS                     *
*************************************************************
```

No.	Desenho	Denominacao	Maquinas
		410	40200 11300 42800
59	00020217	parafuso m16x80	11300 42800
60	00020417	disco dia 69.9x15	49300 11300 95100 22400 53400
61	00020517	acopl. dia 260x116	11300 40200 11301 53400
62	00017717	disco 155/35x30	40600 17000 22400
63	00017617	parafuso dia 50x348	40200 19400 17000 42800
64	30901917	cilindro dia 480	26300 14300 95800 26200
65	30901917	bujao r3"/r3/4"	40200 11300 42800
66	30942317	bujao r2" din 907	40200 11300 42800
67	30942317	bujao r2" din 907	49300 19400 17000 42800
68	30942317	bucha 35/27x25	40200 17000
69	00631317	bucha dia 46/tr 20x58	40200 11300 95100 22400
70	30958217	porca m20x51	40200 11300 42800 17000 94900
71	30925817	porca m20x51	40200 11300 42800 17000 94900
72	30926317	porca m20 x 51	40200 11300 42800 17000 94900
73	30925817	parafuso m20 - 16x85	40200 11300 95100 94900 17000 42800 94900
74	30926317	parafuso m20 - 16x85	40200 11300 91500 94900 17000 42800 94900
75	30958217	parafuso m20 - 16x85	40200 11300 91500 94900 17000 42800 94900
76	30965117	parafuso m20 - 16x85	42000 11300 91500 94900 11700 42800
77	04099010	batente dia 25x13	40300 11300
78	69002222	eixo dia 110x180	40300 11300 11300 51300
79	69001422	eixo dia 75x104	40300 11300 11301 51300
80	61001822	tampa dia 430x45	11300 95100 22400 11301
81	73500622	tampa dia 110x12	40300 11300 95100 22400 42800 94900 11301
82	74501122	tampa dia 110x24	40300 11300 95100

Page No. 4
06/24/89

```
*************************************************************
* RELATORIO DE DEMONSTRACAO DO CONTEUDO DO BANCO DE DADOS   *
*                      ARQUIVO DE PECAS                     *
*************************************************************
```

No.	Desenho	Denominacao	Maquinas
			22400 42800 94900 11301
83	74501922	tampa dia 110x19	40300 11300 95100 22400 94900 11301
84	73501022	tampa dia 110x11	40300 11300 95100 22400 42800 94900
85	75500822	tampa 11x135x350	32700 94900 95100 22400
86	78500622	anel dia 240x50	40300 11300 53800
87	77502422	anel dia 45x25	40300 11300 53800
88	77502322	anel dia 240 x 129	40300 11300 53800
89	72503522	anel dia 90x2	40200 11300 53800
90	77502122	anel dia 45x3.5	40200 11300 53800
91	77502222	anel dia 45x12	40300 11300 53800
92	77501922	anel dia 45x14	40300 11300 53800
93	73501322	tampa dia 60x7	40300 11300
94	89001522	eixo dia 55x498	40300 11300 47600 94900 51300
95	62000022	carcaca 358x705x757	14200 26200 95100 22400 94900
96	04580089	anel dia 140x40	40300 11300 53400
97	04000829	anel dia 160x17	11300 53400
98	04000842	anel dia 200 x 19	11300 53400
99	04580091	anel dia 110x48	40300 11300 53400
100	04010260	anel dia 260x16	40300 11300 53400
101	04000843	anel dia 100x10	40200 11300 53400
102	04000261	anel dia 64x65	40300 11300 53400
103	04010259	anel dia 100x11	40200 11300 53400
104	04580092	anel dia 120x37	40300 11300 53400
105	04000854	anel dia 112x21	40300 11300 53400
106	04210108	tampa dia 285x33	11300 95100 22400 42800 94900 11301
107	04390049	tampa dia 285x33	11300 95100 22400 42800 94900 11301
108	04390050	tampa dia 310x40	11300 95100 22400 42800 94900 11301
109	04210110	tampa dia 330x36	11300 95100 22400 42800 94900 11301
110	04210109	tampa dia 230x40	11300 95100 22400 42800 94900 11301
111	04480019	tampa dia 136x10	11300 95100 22400 42800
112	04390048	tampa dia 285x33	11300 95100 22400 42800 94900 11301
113	30955217	tampa dia 315x50	40600 11300 95100 22400

Page No. 5
06/24/89

```
*************************************************************
* RELATORIO DE DEMONSTRACAO DO CONTEUDO DO BANCO DE DADOS   *
*                      ARQUIVO DE PECAS                     *
*************************************************************
```

No.	Desenho	Denominacao	Maquinas		
114	30956317	bujao r2" - din 907	49300	19400	17000
			42800	94900	
115	30956317	bujao r2" - din 907	49300	11300	42800
			94900		
116	30905217	tampa 370/50x45	11300	22400	
117	30920817	tampa 370x45	11300	22400	
118	01134417	tampa dia 265x16	11300	95100	22400
119	30942317	tampa 640/84x300	12800	12801	95100
			22600		
120	00630917	cubo dia 76.9/20x100	40200	11300	95100
			22400		
121	00631217	bucha dia 60/25x58	40200	11300	

APENDICE E - FAMÍLIAS FORMADAS

RELATORIO DA FORMACAO DE FAMILIAS

-> ARQUIVO:tese
(Arquivo agrupado automaticamente)

-> NUMERO DE PECAS ELIMINADAS: 6

-> PECAS ELIMINADAS: 7 34 11 36 62 33

-> NUMERO DE PECAS CLASSIFICADAS: 115

-> NUMERO DE MAQUINAS: 29

-> NUMERO DE FAMILIAS FORMADAS: 18

FAMILIA : 1

PECAS DA FAMILIA:
1 5

TOTAL ---> 2

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
1 6 12 15 18 20 23 24 28

TOTAL ---> 9

FAMILIA : 2

PECAS DA FAMILIA:
81 83 108 109 112 106 84 107 110 82 80 10

TOTAL ---> 12

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
1 6 17 23 24 28 29

TOTAL ---> 7

FAMILIA : 3

PECAS DA FAMILIA:

6 21 13 115 20 60 111 8 38 117 116 23 44 54 18 26 24

113 25 118 22 120 69

TOTAL ---> 23

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
1 6 13 15 17 19 23 24

TOTAL ---> 8

FAMILIA : 4

PECAS DA FAMILIA:
73 71 74 70 75 72

TOTAL ---> 6

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
1 15 17 23 24 25

TOTAL ---> 6

FAMILIA : 5

PECAS DA FAMILIA:

58 29 90 89 57 48 56 47 39 65 66 14 98 97 103 42 32

30 52 28 101 49 121 37

TOTAL ---> 24

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
1 8 10 14 15 17 21

TOTAL ---> 7

FAMILIA : 6

PECAS DA FAMILIA:
40 63 68

TOTAL ---> 3

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
1 15 17 25 26

TOTAL ---> 5

FAMILIA : 7

PECAS DA FAMILIA:
41 45 61

TOTAL ---> 3

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
1 15 20 25 26 28

TOTAL ---> 6

FAMILIA : 8

PECAS DA FAMILIA:
94 9

TOTAL ---> 2

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
1 18 20 23 29

TOTAL ---> 5

FAMILIA : 9

PECAS DA FAMILIA:
35 4 119 27 17 16

TOTAL ---> 6

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
3 6 8 9 23 24 27

TOTAL ---> 7

FAMILIA : 10

PECAS DA FAMILIA:
95 46 3 2

TOTAL ---> 4

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
4 6 8 9 23 24

TOTAL ---> 6

FAMILIA : 11

PECAS DA FAMILIA:
51 85 50

TOTAL ---> 3

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
6 13 17 23 24

TOTAL ---> 5

FAMILIA : 12

PECAS DA FAMILIA:
15 64

TOTAL ---> 2

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
8 9 10 19 23

TOTAL ---> 5

FAMILIA : 13

PECAS DA FAMILIA:
114 67

TOTAL ---> 2

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
17 19 23 25 26

TOTAL ---> 5

FAMILIA : 14

PECAS DA FAMILIA:
76 55

TOTAL ---> 2

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
1 6 16 17 23

TOTAL ---> 5

FAMILIA : 15

PECAS DA FAMILIA:
79 92 86 87 91 88 78 105 99 77 93 100 96 104 102

TOTAL ---> 15

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
1 20 21 28 29

TOTAL ---> 5

FAMILIA : 16

PECAS DA FAMILIA:
19 12

TOTAL ---> 2

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
2 6 9 24

TOTAL ---> 4

FAMILIA : 17

PECAS DA FAMILIA:
43 53

TOTAL ---> 2

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
2 7 17 24

TOTAL ---> 4

FAMILIA : 18

PECAS DA FAMILIA:
31 59

TOTAL ---> 2

MAQUINAS UTILIZADAS PELA FAMILIA:
1 17 20

TOTAL ---> 3